



TUGAS AKHIR - TM 141585

STUDI EKSPERIMENTAL MATERIAL TERMOPLASTIK ALTERNATIF UNTUK PRODUK HELM STANDAR

I Made Risky Ardita Prapanca
NRP. 2109 100 106

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM 141585

EXPERIMENTAL STUDY OF ALTERNATIVE THERMOPLASTIC MATERIAL FOR STANDARD HELMET

I Made Risky Ardita Prapanca
NRP. 2109 100 106

Academic Advisor
Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng

DEPARTMENT MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

STUDI EKSPERIMENTAL MATERIAL TERMOPLASTIK ALTERNATIF UNTUK PRODUK HELM STANDAR

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

I MADE RISKY ARDITA PRAPANCA

Nrp. 2109 100 106

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen B. M.Eng.
NIP: 1958 11 06 198601 1002 (Pembimbing 1)
2. Arif Wahjudi, ST, MT, Ph.D.
NIP: 1973 03 22 200112 1003 (Penguji 1)
3. Indra Sidharta, ST, M.Sc.
NIP: 1980 06 19 200604 1004 (Penguji 2)
4. Dinny Harnany, ST, M.Sc.
NIP: 2100 2014 05 001 (Penguji 3)

SURABAYA

Juli, 2015

STUDI EKSPERIMENTAL MATERIAL TERMOPLASTIK ALTERNATIF UNTUK PRODUK HELM STANDAR

Nama Mahasiswa : I Made Risky Ardita Prapanca
NRP : 2109 100 106
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B, M.Eng

Abstrak

Helm adalah perangkat keselamatan standar yang wajib digunakan oleh pengendara kendaraan bermotor. Untuk memenuhi kebutuhan akan helm yang aman dipakai oleh pengendara bermotor, industri helm di Jawa Timur melakukan usaha-usaha untuk membuat helm dengan standar SNI. Ditinjau dari pasar, saat ini material plastik yang paling umum dalam pembuatan sungkup helm adalah polypropylene (PP). Namun harga material PP murni tersebut masih cukup mahal. Sementara material daur ulang plastik seperti Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) daur ulang, banyak tersedia di pasaran Indonesia, harganya murah, dan mungkin dapat digunakan sebagai bahan tambahan atau campuran untuk proses injeksi moulding. Untuk itu dilakukan studi eksperimen pencampuran material plastik PP dan ABS daur ulang sebagai material alternatif untuk material helm dengan proses injeksi.

Untuk maksud tersebut dilakukan percobaan pencampuran antara PP dan ABS daur ulang dengan komposisi PP : ABS berturut-turut 90% PP dan 10% ABS, 80% PP dan 20% ABS, 70% PP dan 30% ABS, 60% PP dan 40% ABS, 50% PP dan 50% ABS. Kemudian dicetak dalam bentuk spesimen uji tarik dan uji impak dengan mesin injeksi Haitian MA 900/260e. Selanjutnya dilakukan uji tarik dan uji impak untuk mengetahui sifat mekanik dari material alternatif tersebut. Disamping itu dilakukan uji temperatur di Laboratorium Energi LPPM-ITS.

Selanjutnya dengan menggunakan rancangan cetakan helm dilakukan simulasi proses injeksi pada mesin.

Hasil yang didapatkan dari studi ekperimental ini adalah material campuran terbaik yaitu material yang memenuhi syarat sifat mekanik sungkup helm, memiliki kandungan ABS daur ulang yaitu material PP dengan campuran kandungan ABS sebesar 10%, 20%, dan 30%. Material PP dengan kandungan ABS 40% dan 50% tidak memenuhi syarat sifat mekanik yang telah ditetapkan. Dari hasil perbandingan antara proses injeksi aktual dan simulasi didapat kesimpulan bahwa penambahan material ABS pada PP dapat digunakan sebagai material alternatif yang lebih baik dari segi kualitas bentuk produk dan dapat mengurangi biaya material.

Kata Kunci : *Helm, SNI, Sungkup helm, Polypropylene, Acrylonitrile Butadiene Styrene, Material alternatif, Campuran, Simulasi*

EXPERIMENTAL STUDY OF ALTERNATIVE THERMOPLASTIC MATERIAL FOR STANDARD HELMET

Student Name : I Made Risky Ardita Prapanca
NRP : 2109 100 106
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Academic Advisor : Prof. Dr. Ing. I Made Londen B, M.Eng

Abstract

Helm is a standard safety device that must be used by motorists. To meet the need for a safe helmet use by motorists, the helmet industry in East Java to make efforts to make helmet with ISO standards. Judging from the market, is currently the most common plastic materials in the manufacture of the lid helmet is polypropylene (PP). However, the price of pure PP material is still quite expensive. While the recycled plastic material such as Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) recycling, widely available in Indonesia market, low cost, and may be used as an additive or a mixture of the injection molding process. For the experimental studies conducted mixing PP and ABS plastic material recycling as an alternative material for material helmets with the injection process.

For this purpose the mixing experiments conducted between PP and ABS recycled with composition PP : ABS; 90% PP and 10% ABS, 80% PP and 20% ABS, 70% PP and 30% ABS, 60% PP and 40% ABS, 50% PP and 50% ABS. Then printed in the form of tensile test specimens and impact test with Haitian injection machines MA 900 / 260E. Furthermore, the tensile test and impact test to determine the mechanical properties of these alternative materials. Besides, temperature test of alternative material in Energy Laboratory LPPM-ITS. Furthermore, by using a mold helmet design simulation injection process on the machine.

From the comparison between the actual injection process and the simulation concluded that the addition of the ABS material for PP material can be used as a better alternative in terms of quality of product form and can reduce material costs.

Keywords: Helmet, SNI, Helmet Shell, Polypropylene, Acrylonitrile Butadiene Styrene, Alternative material, Blend, Simulation

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrabbi ‘alamiin, puji syukur penulis ucapkan hanya kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, sehingga penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

“STUDI EKSPERIMENTAL MATERIAL TERMOPLASTIK ALTERNATIF UNTUK PRODUK HELM STANDAR”

Dengan terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunannya terutama kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ibunda Alm. Amruni dan Ayahanda I Wayan Suwetha Wahana yang telah memberikan banyak doa, dukungan dan semangat yang tiada mengenal kata lelah maupun pamrih.
2. Kakak dan adik penulis, Ni Putu Riska Wandira, dan Ni Komang Revalina Senandung Vazkya yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
3. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen B, M.Eng. yang memberikan bimbingan mulai awal penulisan tugas akhir hingga selesai.
4. Bapak Arif Wahjudi, ST, MT, Ph.D, Bapak Ir. Sampurno, MT, Bapak Indra Sidharta, ST, M.Sc, dan Ibu Dinny Harnany, ST, M.Sc. selaku dosen penguji seminar dan sidang tugas akhir yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir.
5. Bapak Bambang Pramujati, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Teman-teman S1, S2 Laboratorium Perancangan Dan Pengembangan Produk dan karyawan *workshop* manufaktur.

7. Seluruh Staf Pengajar dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
8. Dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini dengan melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan kebaikan bagi banyak pihak serta bernilai ibadah di hadapan Allah SWT. Amin.

Surabaya, Juli 2015

I Made Risky Ardita P

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.	
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.2.1 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Termoplastik.....	5
2.1.1 <i>Polypropylene (PP)</i>	5
2.1.2 <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	6
2.2 Penelitian Terdahulu.....	7
2.3 Proses Pencetakan Plastik	10
2.4 <i>Injection Moulding</i>	11
2.5 Pengujian Helm....	12
2.6 Uji Tarik.....	14
2.7 Uji Impak.	16
2.8 <i>Software Moldflow</i>	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Langkah-langkah Penelitian.....	20
3.3 Mesin Injeksi yang Digunakan.....	24
3.4 Mesin Uji Tarik dan Impak yang Digunakan.....	25

BAB 4 PEMBUATAN SPESIMEN DAN PENGUJIAN SIFAT MEKANIK.....	27
4.1 Pembuatan Spesimen.....	27
4.1.1 Peralatan yang digunakan.....	27
4.1.2 Bahan yang digunakan.....	27
4.1.3 Pembuatan spesimen dengan mesin injeksi....	27
4.2 Pengamatan Spesimen Uji Tarik dan Uji Impak.....	29
4.3 Pengujian Mekanik Material.....	30
4.3.1 Uji tarik.....	30
4.3.1.1 Langkah-langkah pengujian tarik.....	30
4.3.1.2 Analisa hasil uji tarik.....	31
4.3.2 Uji impak.....	34
4.3.2.1 Langkah-langkah pengujian impak.....	34
4.3.2.2 Analisa hasil uji impak.....	35
4.4 Analisa Hasil Pengujian Mekanik.....	40
4.5 Analisa Hasil Uji Temperatur.....	41
4.6 Simulasi <i>Moldflow</i>	43
4.6.1 Langkah-langkah simulasi.....	44
4.6.2 Hasil simulasi <i>moldflow</i>	45
4.6.2.1 <i>Fill time</i>	45
4.6.2.2 <i>Injection pressure</i>	47
4.6.2.3 <i>Average temperatur</i>	48
4.6.2.4 <i>Volumetric Shrinkage</i>	50
4.6.2.5 <i>Air trap</i>	52
4.7 Perbandingan Hasil Proses Injeksi dengan Simulasi.	54
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik <i>Polypropylene</i>	6
Tabel 2.2	Karaterisktik ABS.....	7
Tabel 2.3	Tabel Pengujian Tarik.....	9
Tabel 3.1	Komposisi Material Alternatif.....	22
Tabel 4.1	Parameter Hasil Operasi <i>Injection Moulding</i>	28
Tabel 4.2	Hasil Uji Tarik Material.....	31
Tabel 4.3	Hasil Uji Impak Material.....	36
Tabel 4.4	Data Temperatur Hasil Tes DSC.....	42
Tabel 4.5	Tabel Parameter Simulasi.....	45
Tabel 4.6	Hasil Simulasi <i>Fill Time</i> Termoplastik.....	45
Tabel 4.7	Hasil Simulasi <i>Injection Pressure</i> Termoplastik....	47
Tabel 4.8	Hasil Simulasi <i>Average Temperature</i> Termoplastik	49
Tabel 4.9	Hasil Simulasi <i>Shrinkage</i> Termoplastik.....	51
Tabel 4.10	Hasil Simulasi Air Trap Termoplastik.....	52
Tabel 4.11	Perbandingan Hasil Simulasi Dan Proses Injeksi....	54

*** Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ***

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kekuatan tarik berbagai jenis material.....	8
Gambar 2.2	Kekuatan impak berbagai jenis material.....	8
Gambar 2.3	Hasil pengujian tarik spesimen polyester dengan CaCO_3	9
Gambar 2.4	Konstruksi sungkup helm berdasarkan fraksi CaCO_3	10
Gambar 2.5	Sistem <i>Injection Moulding</i>	11
Gambar 2.6	<i>Outer shell helmet</i>	13
Gambar 2.7	Pengujian Tarik: a) gaya yang terjadi saat pengujian b) contoh pengujian tarik.....	14
Gambar 2.8	Pengujian impak <i>charpy</i>	17
Gambar 2.9	Contoh simulasi <i>software moldflow adviser</i>	18
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3.2	Material PP murni.....	20
Gambar 3.3	Penggilingan sampah plastik daur ulang.....	21
Gambar 3.4	Material ABS daur ulang.....	21
Gambar 3.5	Spesimen uji tarik (ASTM D638).....	22
Gambar 3.6	Spesimen uji beban kejut (ASTM D6110)...	22
Gambar 3.7	Mesin Injeksi HAITIAN MA900/260e.....	24
Gambar 3.8	Mesin Uji Tarik Frank tipe 654.....	25
Gambar 3.9	Mesin Uji Impak type KRY.....	26
Gambar 4.1	Hasil Spesimen uji impak ASTM D6110...	29
Gambar 4.2	Hasil Spesimen uji tarik ASTM D63.....	29
Gambar 4.3	Clamp uji tarik Spesimen ASTM D638.....	30
Gambar 4.4	Posisi clamp mesin Frank tipe 654.....	31
Gambar 4.5	Hasil uji tarik spesimen.....	32
Gambar 4.6	Grafik kekuatan tarik rata-rata spesimen.....	32
Gambar 4.7	Grafik perpanjangan rata-rata spesimen.....	33
Gambar 4.8	Mesin uji impak mini.....	35
Gambar 4.9	Bentuk patahan uji impak spesimen.....	37
Gambar 4.10	Grafik kekuatan impak rata-rata spesimen...	37
Gambar 4.11	Bentuk permukaan sisa patahan uji impak spesimen.....	39

Gambar 4.12 Grafik analisa DSC spesimen..... 42

Gambar 4.13 Menambahkan database material alternatif.. 43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Simulasi <i>Moldflow</i>
Lampiran B	Hasil Uji Tarik dan Impak
Lampiran C	Hasil Tes <i>Differential Scanning Calorimetry</i>

*** Halaman ini sengaja dikosongkan ***

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Helm adalah perangkat keselamatan standar yang wajib digunakan oleh pengendara kendaraan bermotor roda dua, sesuai dengan peraturan berkendara di jalan raya, setiap pengendara sepeda motor diwajibkan menggunakan helm sebagai alat keselamatan pengendara [SK Menteri Perhubungan No. KM 72 tahun 1993]. Untuk memenuhi kebutuhan akan helm yang aman dipakai oleh pengendara bermotor, industri helm di Jawa Timur melakukan usaha-usaha untuk membuat helm dengan standar SNI.

Agar dapat bersaing di pasaran, sebagian besar produsen membuat helm dengan cara manual (pelapisan-laminasi) dengan bahan komposit. Namun demikian sebagian besar kualitas helmnya tidak memenuhi syarat standar SNI. Hasil survei penyebaran kuisioner yang dilakukan oleh Alexfan dalam tesis [Perancangan Helm Standar Plus Untuk Kendaraan Bermotor Roda Dua, 2006. hal : 34 - 35], didapatkan hasil survei bahwa masyarakat cenderung memilih helm standar yang murah, ringan serta helm standar model *half face*. Dari hasil survei penyebaran kuisioner tersebut, Alexfan merancang sebuah helm standar plus yaitu model helm *half face* dengan sistem komunikasi yang diproduksi dengan *injection molding*. Helm tersebut direncanakan terbuat dari material polimer yaitu *polypropylene* (PP), dengan ketebalan sungkup helm 3 mm dan berat sungkup helm 0,31 kg.

Ditinjau dari pasar, saat ini material plastik yang paling umum dalam pembuatan sungkup helm adalah polypropylene (PP). Hal ini dikarenakan material tersebut mempunyai banyak kelebihan – kelebihan yang mulai diperhitungkan oleh industri. Keunggulan material tersebut pada umumnya adalah mudah didapat dan lebih efisien dibandingkan penggunaan material plastik lainnya seperti PE, PVC, dan PC, dan juga proses pengerjaannya yang relatif sederhana dan murah. Selain efisien,

material tersebut memiliki kelebihan lainnya seperti: kuat tetapi ringan, murah, tidak berkarat, mudah dibentuk, dan memiliki ketahanan reaksi kimia yang tinggi. Namun material PP murni tersebut masih tergolong cukup mahal. Sementara material daur ulang plastik seperti ABS *recycle*, banyak tersedia di pasaran, harganya yang murah, dan dari sifat fisik dan mekanik ABS tersebut dapat digunakan sebagai bahan tambahan atau campuran untuk proses injeksi moulding. Namun bahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) daur ulang masih jarang sekali digunakan untuk menunjang dalam pembuatan produk-produk plastik.

Pada tahun 2009 dan tahun 2014, saudara Putu Bayu, Mukhahmmad dan Setyoko melakukan studi pencampuran bahan untuk helm dengan material biokomposit UPRs (*Unsaturated Polyester Resin*) yang diperkuat serat rami acak (Mukhahmmad dan Setyoko, 2014) dan CaCo_3 (Putu Bayu, 2009) sebagai bahan alternatif helm SNI *Polypropylene* yang lebih ramah terhadap lingkungan. Hasil pengujian kedua studi menunjukkan kekuatan tarik dan impak tertinggi diperoleh pada material alternatif jauh lebih tinggi dibandingkan kekuatan tarik bahan helm SNI. Sehingga material-material alternatif tersebut layak digunakan pada pembuatan helm SNI.

Dari adanya uraian latar belakang diatas, maka dilakukan pemanfaatan bahan plastik hasil daur ulang menjadi bahan baku kembali dengan melakukan penelitian untuk mencari alternatif material untuk helm dari material campuran antara PP dan ABS, hal ini sangat memungkinkan karena plastik PP dan ABS merupakan material polimer yang dapat didaur ulang. Kemudian spesimen material alternatif di uji tarik dan impak untuk mengetahui karakteristik dari material alternatif tersebut, dan dengan menggunakan rancangan cetakan helm dilakukan simulasi proses injeksi pada mesin. Dari simulasi proses injeksi dapat diketahui dari hasil cetakan, material alternatif yang dikembangkan, dan dapat dipastikan kegunaannya untuk helm.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan menjadi kajian dalam penulisan penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana mencari material alternatif yang mempunyai sifat mekanik pada tegangan tarik dan tegangan impak yang mendekati atau sama dengan material pembuat produk helm *polypropylene*.
2. Bagaimana mencari temperatur leleh dari material alternatif yang didapatkan.
3. Bagaimana perbandingan hasil produk dan parameter operasi pada material alternatif menggunakan simulasi moldflow dengan proses injeksi aktual..

1.2.1 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka diberlakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Spesimen uji tarik dan beban kejut sesuai dengan standar yaitu benda uji tarik (ASTM D638) dan uji beban kejut (ASTM D6110).
2. Material termoplastik yang digunakan adalah material campuran *Polypropylene* (PP) dengan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS).
3. Mesin cetakan injeksi yang digunakan HAITIAN MA 900/260e.
4. Produk yang disimulasikan adalah spesimen uji tarik ASTM D638 dan uji beban kejut ASTM D6110.
5. *Software* simulasi menggunakan *Autodesk Simulation MoldFlow Adviser*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh material alternatif campuran antara PP dan ABS daur ulang yang mempunyai sifat mekanik pada tegangan tarik dan tegangan impak yang mendekati atau sama dengan material pembuat produk helm.
2. Memperoleh temperature leleh dari material alternatif yang didapatkan.
3. Mendapatkan perbandingan hasil produk dan parameter operasi pada material alternatif menggunakan simulasi *moldflow* dengan proses injeksi aktual.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, adalah:

1. Menambah ilmu pengetahuan dalam bidang perancangan cetakan dan simulasi proses injeksi pada *injection moulding*.
2. Memberikan informasi tentang material alternatif yang murah, dapat diinjeksi dan digunakan sebagai material produk cetakan injeksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Termoplastik

Berdasarkan sifat termalnya, plastik atau polimer dapat dibagi menjadi polimer termoplastik dan polimer termoset. Polimer termoplastik adalah polimer yang akan melunak apabila dipanaskan dan dapat dibentuk sesuai pola yang kita inginkan. Setelah dingin polimer ini akan mempertahankan bentuknya yang baru. Proses ini dapat diulang kembali dan dapat diubah menjadi bentuk yang lain (Hadi, 2006). Walaupun plastik termoplastik dapat didaur ulang tetapi temperatur pemakaian maksimumnya lebih rendah dari temperatur lelehnya (Radiman, 2004). Polimer termoplastik dapat meleleh karena saat pembentukannya tidak terjadi ikatan silang sehingga ikatannya akan melemah ketika dipanaskan. Sehingga dapat diketahui polimer termoplastik memiliki sifat – sifat khusus sebagai berikut : Berat molekul kecil, jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang (daur ulang), dan mudah larut dalam pelarut yang sesuai.

Jenis-jenis plastik yang dapat digunakan untuk proses injeksi moulding pada umumnya adalah semua jenis polimer termoplastik seperti *Polypropylene* (PP), *Polyethylene* (PE), *Polystyrene* (PS), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), dan sebagainya.

2.1.1 Polypropylene (PP)

Salah satu polimer termoplastik yang paling sering digunakan pada di industri adalah *polypropylene*. *Polypropylene* mempunyai berat jenis lebih kecil dari air, yang memungkinkan membuat suatu barang terapung di atas air. Berat jenis polypropylene tergolong rendah dengan nilai antara 0,90 – 0,91 gram/cm³.

Polypropylene memiliki beberapa sifat mekanik, yaitu: titik lelehnya tinggi (175°C), sehingga polimer tersebut memiliki sifat tahan panas yang tinggi, dan memiliki sifat tahan terhadap bahan kimia yang tinggi. Namun karena lebih kaku, jika produk *polypropylene* terkena benturan keras, produk tersebut akan mengalami deformasi plastis dan apabila dibakar akan menimbulkan bau menyengat. Aplikasi dari *Polypropylene* beragam dikarenakan material tersebut paling mudah ditemukan di pasaran, contohnya digunakan untuk tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah terpakaikan ulang, perlengkapan laboratorium, dan komponen otomotif.

Tabel 2.1 Karakteristik *Polypropylene*

Temperatur Leleh (°C)	130-175
Kekuatan Tarik (Mpa)	36-60
Perpanjangan (%)	100-600
Modulus Elastisitas (Mpa)	1150-1300
<i>Tensile Yield Strength</i> (Mpa)	25-37
Massa Jenis (g/cm ³)	0.91
Kekerasan Rockwell (HRR)	80

Sumber : olahan data karakteristik PP

2.1.2 *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS)

Plastik ABS merupakan satu bahan ideal di mana kualitas permukaan yang sangat bagus, berwarna cerah dan mengkilap. ABS merupakan salah satu jenis polimer yang mana terbuat dengan mencampur dua fasa. Satu fasa terdiri dari *co-polymer acrylonitrile styrene* (SAN) yang memberi sifat kaku, hambatan kalor dan kekerasan yang baik. Fasa kedua terdiri dari partikel karet *polibutadiene* yang terdistribusi seragam dalam matrik SAN dan memberikan sifat kenyal dari ABS.

Secara umum ABS memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2.2 Karakteristik ABS

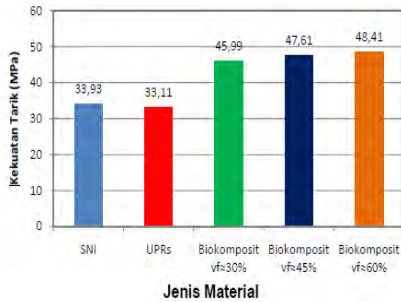
Temperatur Leleh (°C)	105-150
Kekuatan Tarik (Mpa)	48
Perpanjangan (%)	30-70
Modulus Elastisitas (Mpa)	2000
<i>Tensile Yield Strength</i> (Mpa)	35
Massa Jenis (g/cm ³)	1.03
Kekerasan Rockwell (HRR)	94

Sumber : olahan data karakteristik ABS

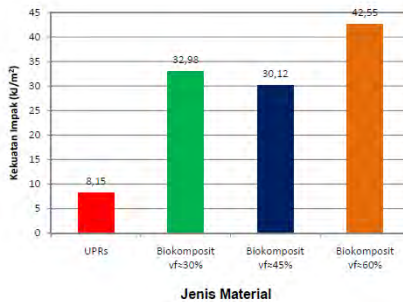
Karena memiliki sifat kekerasan yang lebih baik dari PP serta kemampuan material. ABS memiliki cakupan pemakaian yang cukup luas. Pemakaiannya meliputi pembuatan perabot-perabot, komputer, gagang telepon dan kebutuhan peralatan kantor lain, cover pelindung mesin potong rumput, topi pengaman, cangkang-cangkang bagasi/tas barang, perabot dan pipa-pipa. Dan material tersebut dapat di elektroplating maka ABS banyak digunakan untuk interior bagian dalam atau luar kendaraan atau perlengkapan otomotif lainnya.

2.2 Penelitian Terdahulu

Studi kelayakan mengenai pencampuran bahan untuk helm ditulis oleh saudara Mukhahmmad dan Setyoko (2014). Penelitian ini bertujuan mengetahui kelayakan biokomposit UPRs (*Unsaturated Polyester Resin*) yang diperkuat serat rami acak sebagai bahan alternatif helm SNI *Polypropylene* yang lebih ramah terhadap lingkungan. Biokomposit dibuat menggunakan metode hand lay up dan mesin cetak tekan dengan variasi fraksi volume 0%, 30%, 45%, dan 60%. Sebagai pembanding (control) bahan helm SNI juga dilakukan pengujian. Selanjutnya material-material tersebut diuji tarik dan impak. Hasil pengujian menunjukkan penambahan serat rami acak pada biokomposit UPRs memberikan dampak positif yaitu memperkuat kekuatan tarik dan kekuatan impak.



Gambar 2.1 Kekuatan tarik berbagai jenis material
[Mukhahmmad dan Setyoko, 2014]

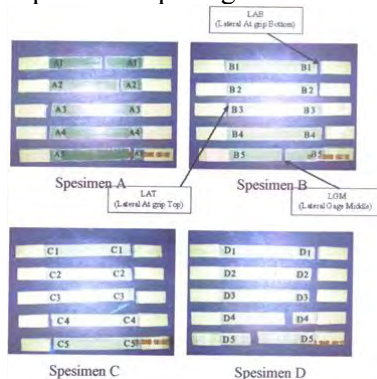


Gambar 2.2 Kekuatan Impak berbagai jenis material
[Mukhahmmad dan Setyoko, 2014]

Hasil pengujian menunjukkan kekuatan tarik dan impak tertinggi diperoleh pada Biokomposit UPRs yang diperkuat serat rami acak dengan $vf \approx 60\%$ yaitu sebesar 48,41 MPa dan 42,55 kJ/m² jauh lebih tinggi dibandingkan kekuatan tarik bahan helm SNI yang hanya sebesar 33,93 MPa. Biokomposit UPRs yang diperkuat serat rami acak layak menjadi material alternatif dalam pembuatan helm SNI jika ditinjau dari kekuatan tarik dan impak. Namun dari segi material, persediaan serat rami tidak banyak di pasaran karena dari sumber serat rami yaitu pohon rami

membutuhkan 6 bulan agar panen dan dapat diambil serat batang pohon tersebut.

Pada penelitian yang dilakukan oleh saudara Putu Bayu (2009) dilakukan eksperimen pembuatan helm berupa material komposit dengan menggunakan serat CSM dan matriks berupa campuran *polyester* dan CaCO_3 dimana dilakukan variasi terhadap fraksi volume matriksnya. Pada awal penelitian, dibuat beberapa spesimen uji tarik dari material campuran *polyester* dan CaCO_3 . Hasil uji dapat dilihat pada gambar 2.3 dan tabel 2.3.



Gambar 2.3 Hasil pengujian tarik spesimen *polyester* dengan CaCO_3 [Bayu, 2009]

Tabel 2.3 Hasil Pengujian Tarik [Bayu, 2009]

Spesimen	Komposisi	Kekuatan Tarik (Mpa)
A	16% CSM, 84% Polyester, 0% CaCO_3	55.06
B	16% CSM, 82% Polyester, 2% CaCO_3	54.82
C	16% CSM, 80% Polyester, 4% CaCO_3	66.80
D	16% CSM, 78% Polyester, 6% CaCO_3	75.25

Sumber : hasil pengujian tarik helm *polyester*

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa penambahan 2- 6% fraksi volume CaCO_3 dalam matriks spesimen komposit dapat meningkatkan kekuatan tariknya.

Selanjutnya dibuat produk sungkup helm dengan material campuran polyester CaCO_3 seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konstruksi sungkup helm berdasarkan fraksi CaCO_3

Hasil pengujian helm dan simulasi ketahanan benturan (shock absorbtion test) menunjukkan spesimen A (16% serat CSM, 84% polyester) dan spesimen B (16% serat CSM, 82% polyester, 2% CaCO_3) memenuhi SNI 1811-1990 sebagai syarat mutu dan dapat dipakai sebagai material alternatif sungkup helm. Demikian pula dengan spesimen C (16% serat CSM, 80% polyester, 4% CaCO_3) juga memenuhi standar. Akan tetapi dari pengujian produk yang telah dilakukan ternyata hampir 20% helm C tidak memenuhi kriteria (pecah/retak) dan untuk spesimen D (16% serat CSM, 80% polyester, 6% CaCO_3) tidak memenuhi standar syarat mutu yang telah ditetapkan maupun menurut simulasi.

2.3 Proses Pencetakan Plastik

Secara umum pengertian *proses pencetakan plastik* adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu yang mendapat perlakuan panas dan pemberian tekanan dengan menggunakan alat bantu berupa cetakan atau *mould*. *Mould* plastik pada prinsipnya adalah suatu alat yang digunakan untuk membuat komponen-komponen material plastik dengan sarana mesin cetak plastik.

Proses pencetakan plastik dapat dibedakan dalam beberapa jenis yaitu:

1. Sistem injeksi (*Injection Moulding*)

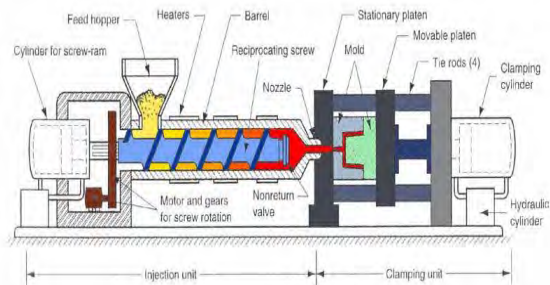
2. Sistem ekstruksi (*Extrusion moulding*)
3. Cetak tekan (*Thermoforming*)
4. Cetak alir (*Transfer moulding*)
5. Cetak hembus (*Blow moulding*)

Dalam proses produksi suatu produk plastik, untuk menghasilkan produk - produk yang tidak cacat perlu diperhatikan desain produk, bahan plastik, ukuran, dan sistem pendinginan pada cetakan tersebut.

2.4 Injection Moulding

Injection moulding adalah metode pencetakan plastik yang paling banyak digunakan dalam proses produksi plastik saat ini. Pada prinsipnya material plastik dimasukkan dalam tabung pemanas untuk dilelehkan, setelah meleleh plastik tersebut ditekan keluar oleh *screw* atau piston melalui *nozzle* untuk diinjeksikan kedalam *mould* yang telah tertutup.

Material plastik yang dipindahkan dari tabung pemanas biasanya suhunya berkisar antara 177 derajat Celcius hingga 274 derajat Celcius. Semakin panas suhunya, plastik/material itu akan semakin encer (rendah viskositasnya) sehingga semakin mudah diinjeksi dan disemprotkan kedalam mold. Setiap material memiliki karakter suhu molding. Semakin lunak formulasinya yang berarti kandungan plastis tinggi, membutuhkan temperatur rendah.



Gambar 2.5 Sistem *Injection Moulding*

Pada dasarnya mesin *injection moulding* terdiri dari beberapa bagian yaitu, *hopper*, *heater*, *nozzle*, *screw*, motor penggerak dan *mould*. *Hopper* berfungsi sebagai tempat masuknya material plastik ke dalam silinder mesin, *hopper* terletak pada bagian atas suatu mesin. *Heater* berfungsi untuk mencairkan material plastik yang ada dalam silinder dengan bantuan panas, *heater* terletak mengelilingi bagian silinder. *Nozzle* adalah saluran keluar material plastik yang telah mencair menuju cetakan. *Screw* berfungsi untuk memindahkan material plastik dari *hopper* kemudian melewati bagian *heater* dan terakhir mendorong plastik yang telah meleleh keluar melalui *nozzle*, *screw* digerakkan oleh motor. Bagian yang terakhir yaitu *mold base*, *mold base* terpisah dari mesin berfungsi sebagai pembentuk produk. Material yang sesuai pada metode *injection moulding* adalah thermoplastik karena material ini akan melunak karena panas dan mengeras lagi apabila didinginkan.

Perubahan yang terjadi hanya bersifat fisik sehingga memungkinkan untuk proses daur ulang. Produk-produk yang dapat dihasilkan melalui proses ini seperti peralatan rumah tangga, peralatan kantor, dsb.

2.5 Pengujian Helm

Helm adalah bentuk perlengkapan kendaraan bermotor berbentuk topi pelindung kepala yang berfungsi melindungi kepala pemakainya apabila terjadi benturan (SNI 1811-2007). Fungsi utama inilah yang menjadi alasan mengapa perlu dilakukan pengujian terhadap helm sehingga dapat diketahui helm yang dibuat layak digunakan atau tidak. Terdapat beberapa standar internasional prosedur pengujian produk untuk helm, yang sering digunakan diantaranya adalah standar SNELL, standar DOT, dan standar ECE. Kebanyakan setiap negara memiliki standar prosedur pengujian produk helm sendiri tak terkecuali Indonesia. Standar prosedur di Indonesia dikenal dengan sebutan SNI (Standar Nasional Indonesia). SNI untuk pengujian helm

kendaraan bermotor roda dua yang terbaru adalah SNI 1811-2007.

Komponen utama helm standar modern yang termasuk bagian paling penting dalam pengujian produk helm adalah *shell/cangkang* luar. *Outer shell*/ lapisan terluar dari helm berperan sebagai dua fungsi penting dalam mekanisme perlindungan helm, yang pertama yaitu mencegah suatu objek menembus helm tersebut, dan membuat energi dampak yang terserap pada helm terdistribusi secara seragam pada lapisan helm. Lapisan luar helm harus didesain untuk dapat pecah jika mengalami benturan, agar dampak tekanan sebelum sampai ke kepala bisa dikurangi.



Gambar 2.6 *Outer shell helmet* [schuberth.com]

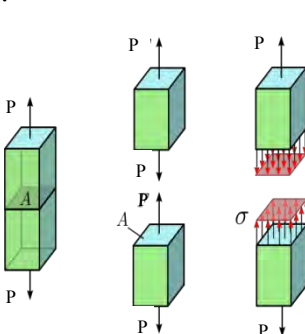
Inti mekanisme perlindungan helm adalah penyerapan energy momentum yang diterima ke seluruh bagian helm. Oleh karenanya meski terdapat berbagai bentuk helm bentuk dan strukturnya harus mempertimbangkan kemampuannya menyerap energi tabrakan. Ukuran dan beratnya juga merupakan pertimbangan lain sebab ukuran yang lebih besar juga meningkatkan risiko terhadap pengguna.

Pada standar uji helm SNI, terdapat beberapa pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan helm tersebut, uji beban kejut dan penetrasi, merupakan pengujian diantaranya.

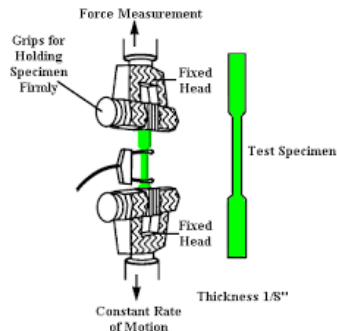
2.6 Uji Tarik

Gaya internal yang bekerja pada sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya-gaya tersebut berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya berarah miring pada bidang perpotongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan. Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan σ (sigma). Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut.

Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan aksial. Konsep dasar dari tegangan dan regangan dapat diilustrasikan dengan meninjau sebuah batang prismatik yang dibebani gaya-gaya aksial (axial forces) P pada ujung-ujungnya. Untuk menyelidiki tegangan-tegangan internal yang ditimbulkan gaya-gaya aksial dalam batang, dibuat suatu pemotongan garis khayal pada irisan mn (Gambar 2.7.). Irisan ini diambil tegak lurus sumbu longitudinal batang. Karena itu irisan dikenal sebagai suatu penampang (cross section).



Gambar 2.7a



Gambar 2.7b

Gambar 2.7 Pengujian Tarik: a) gaya yang terjadi saat pengujian b) contoh pengujian tarik

Tegangan normal dapat berbentuk:

- Tegangan Tarik (*Tensile Stress*) Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.

- Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tekan aksial tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.

Intensitas gaya (yakni, gaya per satuan luas) disebut tegangan (stress) dan lazimnya ditunjukkan dengan huruf Yunani σ (sigma). Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultannya sama dengan intensitas σ kali luas penampang A dari batang. Selanjutnya, dari kesetimbangan benda yang diperlihatkan pada Gambar 2.7, besar resultan gayanya sama dengan beban P yang dikenakan, tetapi arahnya berlawanan. Sehingga diperoleh rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad 2.1$$

Dimana : σ = tegangan (N/mm²)
 P = gaya aksial (N)
 A = luas penampang (mm²)

Sementara untuk mengetahui keuletan dari benda uji. Maka perlu dianalisa regangan dari benda uji. Regangan yaitu perbandingan antara pertambahan panjang dari batang setelah diberikan tegangan tarik, sehingga diperoleh rumus :

$$\varepsilon = \frac{L_u - L_o}{L_o} \quad 2.2$$

Dimana : L_u = Panjang sesudah patah (mm)
 L_o = Panjang awal (mm)
 E = Regangan (mm)

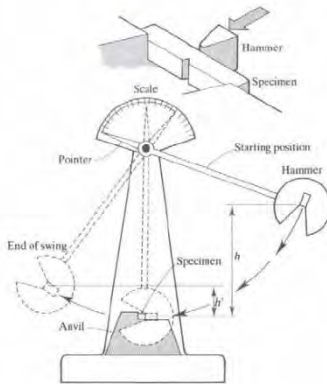
Yang kemudian untuk mendapatkan persentase perpanjangan dari batang tersebut :

$$\varepsilon (\%) = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100 \% \quad 2.3$$

Dimana : $\varepsilon (\%)$ = Persentase perpanjangan (%)

2.7 Uji Impak

Beban impak sering didefinisikan sebagai beban yang bekerja pada struktur dalam waktu yang sangat singkat, umumnya kurang dari 1 detik, bahkan hanya selama beberapa milidetik. Beberapa contoh beban impak adalah beban tekanan udara akibat bom, tembakan peluru, atau benturan benda pada struktur. Pada beberapa struktur, umumnya dengan alasan keamanan, struktur tersebut harus direncanakan terhadap beban impak yang mungkin terjadi selama umur rencana bangunan. Analisis struktur terhadap beban impak umumnya meliputi: prediksi besar dan lama pembebanan beban impak, analisis perilaku elemen struktur dan struktur secara keseluruhan terhadap beban impak, analisis kekuatan struktur terhadap beban impak. Salah satu dari aplikasi beban impak adalah pengujian impak metode *charpy*, Pengujian ini meliputi pemberian beban pada benda uji dengan menggunakan pendulum beban yang dapat diatur ketinggian, beban pendulum, panjang lengan pendulum, dan sebagainya. Kedua ujung benda uji ditahan dan benda uji diberikan kontak gaya dengan pendulum seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pengujian impak *charpy* [e2pro.us]

Energi yang diserap oleh benda uji dianalisa dan dapat diketahui ketangguhan dari benda uji tersebut. Perhitungan kekuatan impak *charpy* meliputi energi yang terserap (E) yang didapatkan dari perbedaan posisi pendulum dan luas penampang dari benda uji, maka diperoleh:

$$E = m g (h \cos \beta - h \cos \alpha) \quad 2.4$$

Dimana :
 E = energi yang terserap (J)
 m = massa pendulum (Kg)
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)

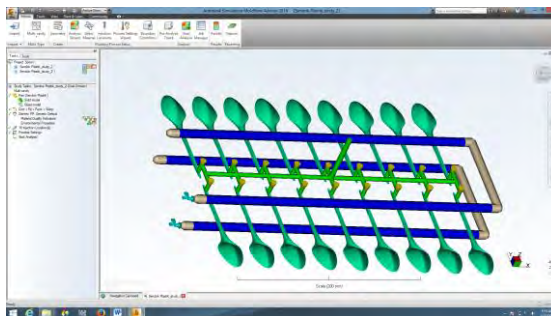
$$A_c = \frac{1000 \times E}{L \times T} \quad 2.5$$

Dimana :
 A_c = Kekuatan impak *charpy* (KJ/m^2)
 L = Lebar penampang benda uji (mm)
 T = Tebal benda uji (mm)

2.8 Software Moldflow

Dalam bidang teknologi plastik dan *Injection Molding* beberapa *software* yang sangat membantu dan mempermudah dari awal proses perencanaan produk dan cetakan sampai pada perencanaan setting parameter proses produksi telah dihasilkan, sehingga suatu gambaran proses yang mendekati proses sesungguhnya dapat diperoleh, dengan waktu relatif lebih cepat. Beberapa *software* pendukung *injection molding* antara lain *C-Mold 3D QuickFill*, *CAD-Mold*, *Flow Mold*, *moldflow adviser*, *PTC Moldbase* dan *Pro Engineer*.

Software moldflow adviser bertujuan untuk mensimulasikan rancangan mold dan parameter proses injeksi sebuah material. Disamping itu software ini dipakai untuk mengevaluasi perencanaan yang dilakukan dengan *input* data aktual yaitu jenis material yang dipakai dan kemampuan mesin injeksi yang digunakan serta parameter-parameter proses untuk termoplastik tertentu dan tampilan dari software ini dapat dilihat pada Gambar 2.9. Hasil simulasi dapat digunakan juga untuk mengevaluasi jika pada hasil cetakan terjadi cacat-cacat produk, seperti *warpage* yaitu distorsi bentuk yang disebabkan oleh tekanan injeksi yang tidak seragam, *shrinkage* yaitu penyusutan yang terjadi yang disebabkan oleh pendinginan dari semua atau daerah bagian *mold*, dan lain-lain.



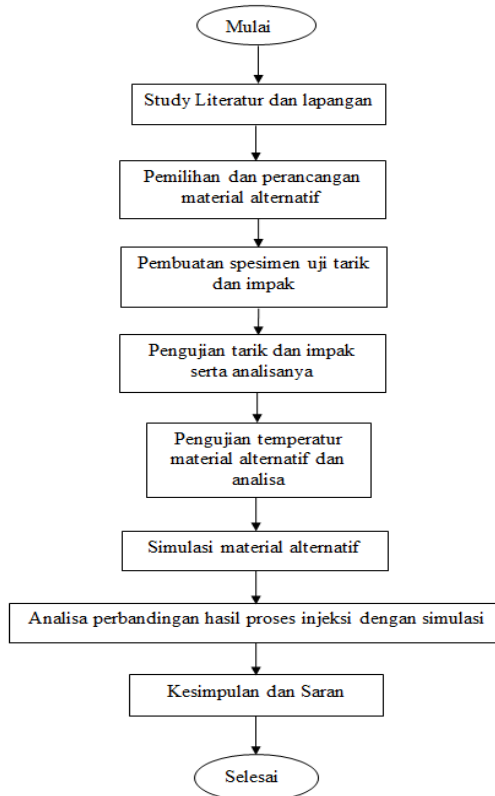
Gambar 2.9 Contoh simulasi *software moldflow adviser*

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian ini menggambarkan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian. Secara umum langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur dan lapangan
Literatur yang dipelajari dalam studi eksperimental alternatif material meliputi proses injeksi plastik, uji tarik dan uji impact. Studi lapangan untuk mempelajari mesin injeksi yang tersedia di jurusan teknik mesin ITS dan hal-hal lain yang berkaitan dengan pencarian alternatif material. Disamping itu dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk mencari alternatif material yaitu, data material termoplastik; meliputi sifat-sifat (*properties*) fisik, mekanik, dan perlakuan yang dapat diberikan pada saat proses injeksi.
2. Pemilihan dan perencanaan material alternatif
Material yang dipilih untuk adalah material *polypropylene* (PP) dan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). PP yang digunakan dalam kondisi murni atau original, karena mudah didapat di pasaran dan banyak kegunaannya.



Gambar 3.2 Material PP murni

Dan material ABS yang digunakan adalah material daur ulang hasil gilingan yang didapat dari industri daur ulang plastik di Surabaya.



Gambar 3.3 Penggilingan sampah plastik daur ulang



Gambar 3.4 Material ABS daur ulang

Campuran material PP dan ABS daur ulang ditujukan untuk dapat mengurangi biaya material. Sebagai informasi, harga material PP murni berkisar Rp 10.000-12.000/kg, sedangkan biaya ABS murni berkisar Rp 12.000-14.000/kg. Sementara harga dari ABS daur ulang berkisar Rp 5000-6000/kg. Selain lebih murah, material ABS mempunyai temperatur leleh yang tidak terlalu berbeda dari PP, sehingga material ABS tidak mempersulit dalam pembuatan spesimen dengan menggunakan proses injeksi. Rancangan komposisi material alternatif terbagi menjadi 5 jenis, yaitu : spesimen A terdiri dari 90% material PP dan 10% material ABS daur ulang, spesimen B terdiri dari 80% material PP dan 20% material ABS daur ulang. spesimen C terdiri dari 70% material PP dan 30% material ABS daur ulang, spesimen D terdiri dari 60% material PP dan 40% material ABS daur ulang, sedangkan spesimen E terdiri

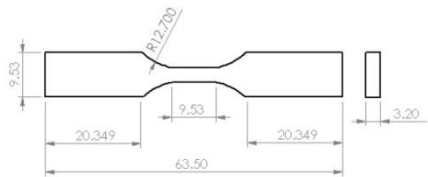
dari 50% material PP dan 50% material ABS daur ulang. Persentase bahan mewakili persentase berat bahan masing-masing, seperti terlihat pada table 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Material Alternatif

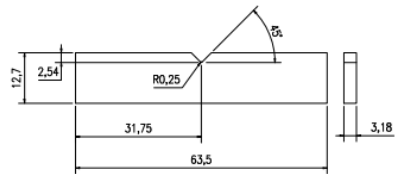
Spesimen	PP murni	ABS daur ulang
A	90%	10%
B	80%	20%
C	70%	30%
D	60%	40%
E	50%	50%

Sumber : perancangan komposisi material

3. Pembuatan spesimen uji tarik dan uji impak
- Bentuk dari spesimen berupa spesimen uji tarik ASTM D638 dan spesimen uji impak ASTM D6110 dengan replikasi 3 kali. Plastik campuran dicetak dengan menggunakan mesin *injection moulding* **HAITIAN MA 900/260e**.



Gambar 3.5 Spesimen uji tarik (ASTM D638)



Gambar 3.6 Spesimen uji beban kejut (ASTM D6110)

4. Pengujian tarik dan impak
Dengan menggunakan spesimen hasil proses *injection moulding*, dilakukan pengujian tarik dan impak dengan mesin uji. Kemudian dilakukan pencatatan hasil pengujian tarik berupa *tensile strength*, dan *elongation*. Serta hasil dari uji beban kejut yaitu *impact strength*. Hasil dari pengujian dianalisa dengan membandingkan hasil antar spesimen dan bentuk dari patahannya.
5. Pengujian temperatur material alternatif
Disamping itu uji tarik dan impak dilakukan juga uji temperatur untuk mengetahui temperatur leleh material alternatif. Pengujian temperatur dilakukan dengan menggunakan metode DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) yang dilakukan di laboratorium energi LPPM ITS. Hasil dari uji temperatur DSC yang dianalisa adalah temperatur leleh dan kristalisasi.
6. Simulasi pemakaian material alternatif pada spesimen dengan *software*
Setelah dievaluasi perbandingan material alternatif dan didapatkan data temperature dari pengujian DSC, kemudian dilakukan percobaan menggunakan material alternatif yang lulus evaluasi atau memenuhi standar material helm. Percobaan yang dilakukan adalah simulasi menggunakan program *Autocad Moldflow Adviser*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam simulasi material alternatif sebagai berikut:
 - 1) Membuat produk cetakan dengan menggunakan program CAD.
 - 2) Merancang parameter simulasi meliputi: perhitungan waktu siklus, bentuk sistem pendingin, lokasi injeksi, dimensi *runner*, *sprue*, dan penyesuaian *cavity core* produk.

- 3) Mensimulasikan produk dengan menggunakan analisa *fill* dan *pack*.
7. Analisa perbandingan hasil proses injeksi dengan simulasi Analisa dengan membandingkan hasil proses injeksi aktual dengan hasil simulasi yang didapatkan, data yang dapat dibandingkan berupa waktu siklus dan tekanan injeksi.
8. Material plastik alternatif
Material alternatif terbaik adalah material yang memenuhi syarat sifat mekanik helm pada tegangan tarik dan impak, memiliki kandungan ABS daur ulang terbanyak, dan memperlihatkan hasil cacat yang paling minimal pada simulasi sehingga menunjukkan bahwa material alternatif tersebut dapat dibuat atau dicetak untuk membuat produk helm dengan biaya produksi yang murah.

3.3 Mesin Injeksi yang Digunakan

Mesin injeksi yang digunakan untuk membuat spesimen adalah mesin injeksi HAITIAN MA900/260e yang berada di ruang injeksi yang terletak di workshop proses manufaktur Teknik Mesin FTI-ITS. Dengan kapasitas tekanan injeksi sebesar 218 Mpa, daya tampung material 25 kg, gaya cengkam sebesar 900 kN, dan dilengkapi dengan cetakan yang berdimensi panjang x lebar x tebal : (300 x 300 x 120)mm.



Gambar 3.7 Mesin Injeksi HAITIAN MA900/260e

3.4 Mesin Uji Tarik dan Impak yang Digunakan

Mesin uji tarik dan impak yang digunakan adalah mesin yang ada di laboratorium metalurgi jurusan Teknik Mesin ITS. Kapasitas mesin uji yang digunakan untuk menguji tarik dan impak spesimen harus sesuai dengan material yang digunakan.

- Uji Tarik

Mesin uji tarik dengan kapasitas 1000-3000 N biasanya cukup untuk kebanyakan material plastik standar, sementara mesin uji tarik dengan kapasitas 10.000 N digunakan untuk menguji sampel yang lebih besar dan atau bahan yang lebih kuat seperti plastik diperkuat dengan serat atau komposit. Material alternatif yang akan diuji adalah material campuran PP dan ABS, dimana bahan-bahan campuran tersebut merupakan bahan plastik standar sehingga pengujian tarik dapat menggunakan mesin uji tarik yang berada di workshop metalurgi Teknik Mesin FTI-ITS, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Mesin tarik merk **Wolfret Tensile-Bending** dengan kapasitas maksimal **300 kg**, seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Mesin Uji Tarik Frank tipe 654

- Uji Impak

Pada dunia industri, mesin impak yang digunakan untuk pengujian impak spesimen plastik standar D6110 biasanya

menggunakan mesin uji impak mini type KRY dengan kapasitas 0.5-50 J, dan mesin yang berada di workshop *metallurgy* Teknik Mesin ITS yaitu mesin uji impak plastik seperti pada gambar 3.9 mempunyai kapasitas **0.5 - 22 J**. Sehingga mesin tersebut dapat digunakan untuk pengujian impak spesimen.



Gambar 3.9 Mesin Uji Impak type KRY

BAB IV

PEMBUATAN SPESIMEN DAN PENGUJIAN SIFAT MEKANIK

Pada penelitian ini, studi ekperimental material termoplastik yang bertujuan mencari material alternatif untuk produk-produk plastik. Untuk itu tahap awal pembuatan spesimen, selanjutnya dilakukan pengujian tarik dan impak spesimen.

4.1 Pembuatan Spesimen

4.1.1 Peralatan yang digunakan

- Mesin injection moulding HAITIAN MA 900/260e dengan cetakan untuk spesimen uji tarik ASTM D638 dan spesimen uji beban kejut ASTM D6110.
- Pompa air pendingin.
- Alat ukur : timbangan, jangka sorong dan gelas ukur.
- Alat keselamatan : sarung tangan dan masker.

4.1.2 Bahan yang digunakan

- Pellet Polypropylene (PP) murni warna krem.
- Bahan Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) daur ulang hasil gilingan yang dibeli di pasar kota Surabaya.

4.1.3 Pembuatan spesimen dengan mesin injeksi

Hasil analisis regresi dan analisis variansi yang didapatkan pada pendugaan model orde dua untuk kekasaran permukaan ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 sebagai berikut:

1. Sebelum proses cetakan, pengecekan kelengkapan mesin injection moulding HAITIAN MA 900/260e meliputi kondisi oli mesin, selang untuk aliran air pendingin, membersihkan cetakan spesimen dengan menggunakan silikon, dan membersihkan sisa bahan plastik yang tersisa pada nozzle mesin injeksi.

2. Menyalakan pompa pendingin.
3. Bahan pellet PP dan ABS diambil dari tempat penyimpanan bahan, kemudian ditimbang sesuai dengan komposisi pada tabel 3.1 dengan berat total 1000 gram.
4. Bahan PP dan ABS dituang ke dalam hopper, kemudian diaduk agar campuran bahan masuk dengan merata pada mesin injeksi.
5. Memasukan bahan campuran dari hopper ke dalam injection screw dengan menggunakan tombol khusus.
6. Menyalakan mesin injeksi, memanaskan injection screw selama ± 90 menit.
7. Melakukan operasi injection moulding dengan mode semi-auto agar parameter hasil injeksi dapat dikendalikan jika terjadi cacat pada spesimen. Parameter operasi setiap spesimen ditunjukkan pada tabel 4.1.

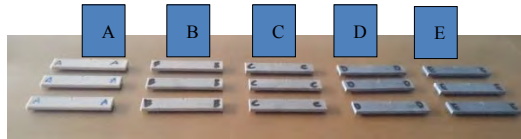
Tabel 4.1 Parameter Hasil Operasi *Injection Moulding*

Spesimen	<i>Injection Pressure (Mpa)</i>	<i>Cycle Time (s)</i>
PP	65	23
PP + ABS 10%		22
PP + ABS 20%		22
PP + ABS 30%		20
PP + ABS 40%		23
PP + ABS 50%		22

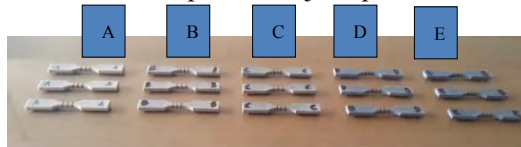
Sumber : operasional mesin injeksi

8. Mesin akan menginjeksi bahan dan membentuk sesuai dengan cetakan mesin tersebut.
9. Hasil injeksi atau spesimen akan dikeluarkan oleh mesin dan spesimen diamati bentuk fisiknya, spesimen dibuat 3 kali. (3 runner).
10. Setelah 3 kali spesimen dibuat, diulang langkah 2 sampai 9 dengan menggunakan berat komposisi yang berbeda sesuai dengan tabel 3.1.

4.2 Pengamatan Spesimen Uji Tarik dan Uji Impak



Gambar 4.1 Hasil Spesimen uji impact ASTM D6110



Gambar 4.2 Hasil Spesimen uji tarik ASTM D638

Gambar 4.1 adalah spesimen uji impact sedangkan gambar 4.2 adalah spesimen uji tarik. Spesimen A adalah spesimen dengan kandungan 10% ABS daur ulang, sedangkan spesimen B kandungan ABS 20%, spesimen C kandungan ABS 30%, spesimen D kandungan ABS 40%, dan spesimen E kandungan ABS 50%. Tampak secara visual, spesimen dengan kandungan ABS 10% memiliki warna yang lebih cerah (coklat), sedangkan semakin banyak kandungan ABS-nya memiliki warna yang lebih gelap (abu-abu). Spesimen E memiliki warna yang paling gelap, karena kandungan ABS yang dimiliki paling besar. Dari pengamatan cacat yang terjadi, cacat yang terjadi pada saat pembuatan spesimen sebagian besar mengalami penyusutan atau shrinkage. Penyusutan yang terjadi adalah penyusutan volume bentuk spesimen sehingga bentuk geometrik dari spesimen tidak sesuai dengan spesifikasi. Sementara cacat lainnya yang terjadi adalah *air trap*. *Air trap* atau terjebakny udara pada cetakan spesimen tersebut mengakibatkan bentuk geometrik pada ujung spesimen tidak mengalami pengisian bahan plastik secara penuh. Maka dari itu, apabila spesimen mengalami penyusutan dan mengalami *air trap* yang berlebih tidak dapat diuji dan pembuatan spesimen dilakukan kembali.

4.3 Pengujian Mekanik Material

Pada penelitian ini dilakukan pengujian tarik dan impak dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik material komposit penyusunnya. Dari hasil pengujian ini dianalisa bagaimana pengaruh penambahan ABS pada bahan PP terhadap kekuatan tarik dan impaknya.

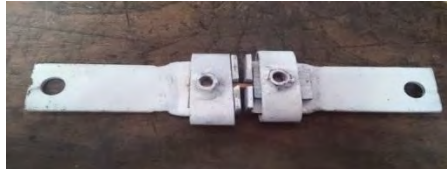
4.3.1 Uji tarik

4.3.1.1 Langkah-langkah pengujian tarik

Peralatan yang digunakan

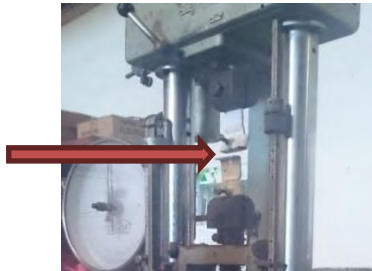
- Mesin uji tarik FRANK tipe 654
- Alat bantu : Jangka sorong

Sebagai langkah awal clamp mesin uji tarik dikendurkan, kemudian spesimen uji tarik ASTM D638 diletakan pada clamp, kemudian clamp dikuatkan dengan menggunakan kunci inggris. Clamp dan spesimen uji tarik dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 *Clamp* uji tarik Spesimen ASTM D638

Kemudian *clamp* diletakkan pada mesin uji tarik FRANK type 654, dan dikuatkan dengan baut mesin. Penunjuk beban tarik dikalibrasi, setelah dikalibrasi, uji tarik dilakukan dengan cara menggerakkan *clamp* bagian bawah sehingga spesimen memanjang sampai spesimen uji tarik tersebut patah/putus. Setelah putus, dilihat pada indicator penunjuk beban tarik untuk diketahui berapa kilopon yang diberikan pada spesimen agar spesimen dapat memanjang. Setelah beban tarik, juga dapat dilihat perpanjangan dengan posisi awal 300 dikurangi posisi akhir spesimen saat patah/putus.



Gambar 4.4 Posisi *clamp* Mesin Frank tipe 654

4.3.1.2 Analisa hasil uji tarik

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan sesuai standar ASTM D638 dengan keterangan P adalah beban axial dalam satuan Newton, σ adalah kekuatan tarik dalam satuan N/mm² atau Mpa, dan ϵ adalah perpanjangan dengan gage length sebesar 7.62 mm:

Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik Material

Spesimen	Replikasi	P [N]	σ [N/mm ²]	ϵ [%]
10% ABS	1	330.48	55.08	529.92
	2	333.42	55.57	595.53
	3	331.46	55.24	543.04
	Rata-rata		55.29	556.16
20% ABS	1	328.52	54.73	510.22
	2	327.54	54.59	507.73
	3	330.48	55.08	490.15
	Rata-rata		54.8	502.7
30% ABS	1	323.61	53.93	464.3
	2	329.50	54.91	438.05
	3	326.56	54.42	464.3
	Rata-rata		54.42	455.55
40% ABS	1	327.54	54.59	293.7
	2	324.60	54.1	188.87
	3	324.60	54.1	228.08
	Rata-rata		54.26	236.88
50% ABS	1	304.00	50.67	18.11
	2	304.98	50.83	18.94
	3	304.00	50.67	18.11
	Rata-rata		50.72	18.38

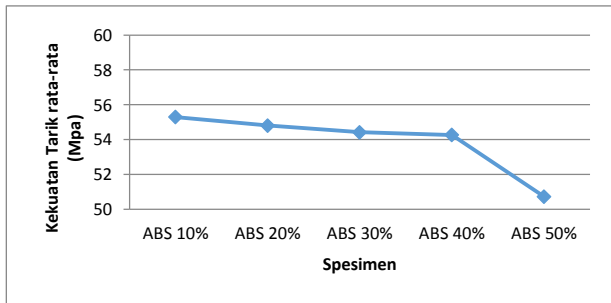
Sumber : hasil olahan pengujian tarik

Dengan pengamatan langsung pada spesimen yang telah diuji, maka dapat diketahui secara visual, bagaimana jenis patahan tarik yang terjadi pada masing-masing jenis material. Secara visual hasil uji tarik dapat dilihat pada gambar 4.5.

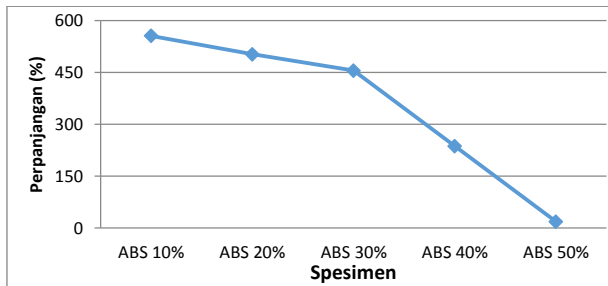


Gambar 4.5 Hasil uji tarik spesimen

Dari hasil uji tarik pada tabel 4.1 selanjutnya dibuat dalam bentuk grafik. Dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik kekuatan tarik rata-rata spesimen



Gambar 4.7 Grafik perpanjangan spesimen

Dari grafik uji tarik dan perpanjangan pada gambar 4.6 dan 4.7, diketahui bahwa setiap spesimen dalam satu variable mempunyai kekuatan tarik yang berbeda-beda. spesimen 10% ABS memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 55.29 Mpa dan perpanjangan sebesar 556.16%, spesimen 20% ABS memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 54.8 Mpa dan perpanjangan sebesar 502.7%, spesimen 30% ABS memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 54.42 Mpa dan perpanjangan sebesar 455.55%, spesimen 40% ABS memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 54.26 Mpa dan perpanjangan sebesar 236.88% dan spesimen 50% ABS memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 50.7 Mpa dan perpanjangan sebesar 18.38%. Secara umum terjadi penurunan kekuatan tarik seiring dengan adanya penambahan ABS daur ulang dalam komposisi campuran plastik. Hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya *airt trap* saat proses injection moulding, sehingga kekuatan material alternatif berkurang.

Sementara di aspek perpanjangan, grafik juga cenderung menurun, artinya penurunan perpanjangan seiring dengan adanya penambahan ABS daur ulang dalam komposisi campuran plastik. Hal ini disebabkan material ABS mempunyai karakteristik perpanjangan yang lebih kecil daripada material PP. Terutama pada spesimen 50% ABS, perpanjangan spesimen mengalami penurunan yang signifikan, hal ini dapat disebabkan karena kandungan ABS daur ulang pada komposisi spesimen 50% ABS

jauh lebih mendominasi daripada komposisi spesimen 40% sehingga menghasilkan perpanjangan yang sangat kecil.

Bentuk konstruksi serat mempengaruhi jenis patahan yang terjadi. Berdasarkan gambar 4.5, secara visual jenis patahan yang terjadi pada spesimen uji 10%, 20%, 30% dan 40% ABS adalah patah ulet, karena pada spesimen-spesimen tersebut bentuk serabut tarikan tebal yang memanjang dan menyusut. Sementara spesimen 50% ABS adalah patah getas ditandai dengan bentuk patahannya berupa serabut tipis. Bila dibandingkan antara spesimen 10%, 20%, 30% dan 40% ABS, jenis bentuk patahan yang terjadi identik, namun spesimen 10% ABS memiliki keuletan yang lebih tinggi. Hal ini ditandai dengan perpanjangan yang sedikit lebih besar pada spesimen lainnya. Sementara spesimen 50% ABS mempunyai perpanjangan yang sangat kecil dibandingkan dengan spesimen 40% ABS. Komposisi ABS sangat berpengaruh pada jenis patahan yang terjadi pada gambar 4.5 diperhatikan maka terlihat dari spesimen 10% ABS menuju spesimen 50% ABS, besar serabut pada patahan semakin kecil. Ini disebabkan oleh ABS yang memiliki sifat getas terhadap campuran yang dicampur dengannya, bila yang dicampur dengan material yang memiliki sifat keuletan yang lebih besar.

Dari hasil pengujian material spesimen 10%, 20%, 30% dan 40% ABS memenuhi syarat material sungkup untuk kekuatan tarik pada helm dimana material spesimen-spesimen tersebut mempunyai nilai kekuatan tarik diantara 35-60 Mpa dan nilai perpanjangan diantara 100-600%. Sementara material spesimen 50% ABS tidak memenuhi syarat karena nilai perpanjangan material spesimen tersebut dibawah syarat material sungkup helm.

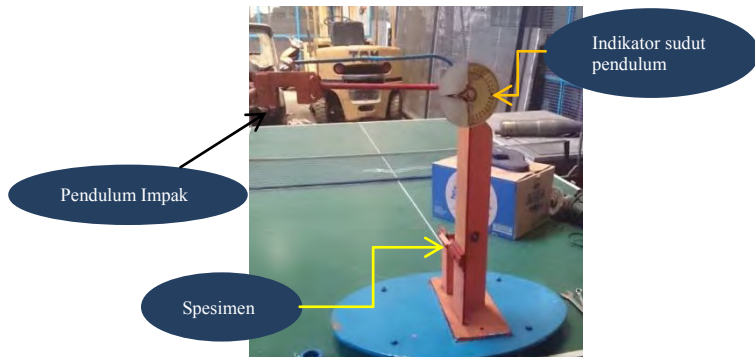
4.3.2 Uji impak

4.3.2.1 Langkah-langkah uji impak

Peralatan yang digunakan

- Mesin uji impak mini tipe KRY
- Alat bantu : Jangka sorong

Sebagai langkah awal mesin dikalibrasi, spesimen ASTM D6110 diletakan dengan posisi horizontal pada tempat spesimen sesuai dengan metode *charpy* dan spesimen direkatkan dengan plastisin. Kemudian pendulum mesin uji impact digerakkan sampai pada posisi 90° (sudut α) terhadap posisi vertikal mesin uji impact, kemudian pendulum ditahan. Setelah pendulum terletak pada posisi tersebut, pendulum dilepas, dan bergerak membentur spesimen. Selanjutnya dilihat indikator sudut pendulum dan dicatat sudut setelah pembenturan sebagai sudut β . Dimana energi patahan dapat dicari dengan cara mengkalikan massa pendulum dengan perbedaan posisi pendulum akhir dengan posisi awal (90°).



Gambar 4.8 Mesin Uji Impact Mini

4.3.2.2 Analisa hasil uji impact

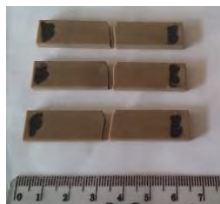
Tabel 4.3 menunjukan hasil pengujian impact yang telah dilakukan sesuai standar ASTM D6110 dengan keterangan m adalah massa pendulum, E adalah energi yang terserap dalam satuan joule dan Ac adalah kekuatan impact material dengan metode *charpy* dalam satuan kilo joule per meter persegi.

Tabel 4.3 Hasil Uji Impak Material

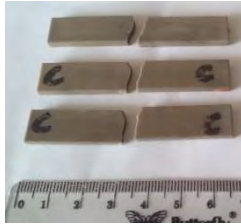
Spesimen	m [Kg]	Replikasi	E [J]	Ac [KJ/m ²]
10% ABS	0.75	1	0.429	11.91
		2	0.471	13.08
		3	0.471	13.08
		Rata-rata		12.69
20% ABS		1	0.386	10.72
		2	0.386	10.72
		3	0.429	11.91
		Rata-rata		11.11
30% ABS		1	0.301	8.36
		2	0.301	8.36
		3	0.258	7.16
		Rata-rata		7.96
40% ABS		1	0.258	7.16
		2	0.301	8.36
		3	0.258	7.16
		Rata-rata		7.56
50% ABS		1	0.215	5.97
		2	0.215	5.97
		3	0.258	7.16
		Rata-rata		6.36

Sumber : olahan hasil pengujian impact

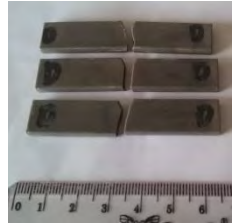
Pengujian impact yang dilakukan pada spesimen uji seluruhnya berhasil, yaitu seluruh spesimen mengalami patah. Kondisi akhir setelah pengujian impact dapat dilihat pada gambar 4.9.



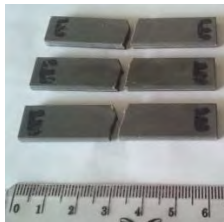
Gambar 4.9a Spesimen ABS 10% Gambar 4.9b Spesimen ABS 20%



Gambar 4.9e Spesimen ABS 30%



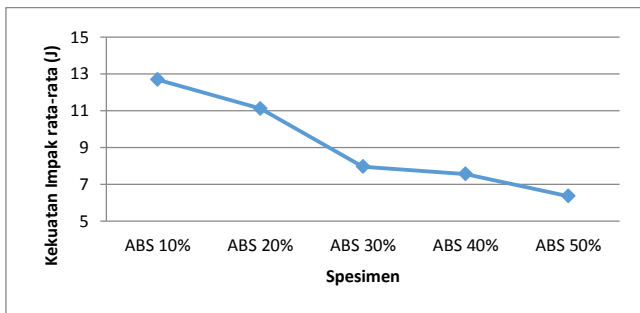
Gambar 4.9d Spesimen ABS 40%



Gambar 4.9e Spesimen ABS 50%

Gambar 4.9 Bentuk patahan uji impact spesimen

Untuk mempermudah analisa dari tabel 4.2, dibuat grafik hasil uji impact. Dan dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik kekuatan impact rata-rata spesimen

Dari grafik hasil uji impact pada tabel 4.10, secara umum terlihat bahwa kekuatan impact dari spesimen 10% ABS hingga spesimen 50% ABS mengalami penurunan. Spesimen 10% ABS

memiliki kekuatan impak rata-rata sebesar 12.69 KJ/m², spesimen 20% ABS memiliki kekuatan impak rata-rata sebesar 11.11 KJ/m², spesimen 30% ABS memiliki kekuatan impak rata-rata sebesar 7.96 KJ/m², spesimen 40% ABS memiliki kekuatan impak rata-rata sebesar 7.56 KJ/m² dan spesimen 50% ABS memiliki kekuatan impak rata-rata terbesar yaitu sebesar 6.36 KJ/m². Ini artinya penambahan ABS dalam campuran material alternatif dengan maksimal 50%, mempengaruhi kekuatan impak dimana ABS dan PP saling mengikat satu sama lain. Hal ini disebabkan karena ABS merupakan material yang lebih getas daripada PP sehingga kekuatan impak material campuran akan menurun seiring meningkatnya ABS dalam campuran material.



Gambar 4.11a Spesimen ABS 10%



Gambar 4.11b Spesimen B ABS 20%



Gambar 4.11c Spesimen ABS 30%



Gambar 4.11d Spesimen ABS 40%



Gambar 4.11e Spesimen ABS 50%

Gambar 4.11 Bentuk permukaan sisa patahan uji impak spesimen

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa, bentuk patahan impak charpy masing-masing spesimen adalah identik. Namun dari gambar 4.11, bentuk permukaan sisa patahan yang terjadi pada setiap spesimen berbeda-beda. Spesimen ABS 10% mempunyai sisa patahan yang halus. Spesimen ABS 20% mempunyai patahan halus dengan beberapa butiran kecil terlihat pada bagian ujung keliling spesimen. Pada spesimen ABS 30% patahan yang terjadi identik dengan spesimen ABS 20% namun butiran yang terbentuk lebih banyak. Spesimen ABS 30% mempunyai sisa patahan yang sama dengan spesimen ABS 20%, Spesimen ABS 40% dan ABS 50% mempunyai permukaan patahan yang kasar karena permukaannya terjadi delaminasi terutama pada spesimen ABS 50%. Delaminasi adalah pemisahan lokal oleh ikatan material dari permukaan yang menurunkan ketangguhan dari material tersebut. Sisa patahan-patahan tersebut menunjukkan material spesimen ABS 10%, ABS 20%, dan ABS 30% adalah material yang ulet/ductile, sementara spesimen ABS 40%, dan spesimen ABS 50% menunjukkan material spesimen tersebut adalah material yang getas/brittle.

Dalam penggunaan material standar untuk produk helm yaitu PP, kekuatan impak yang dimiliki oleh material tersebut sebesar 7.75 - 15 KJ/m² Artinya material spesimen 10% ABS, 20% ABS dan 30% ABS lolos evaluasi uji impak untuk material helm sedangkan material spesimen 40% ABS dan 50% ABS tidak

lolos, dan jika helm terbuat dari material spesimen 40% ABS dan 50% ABS meskipun mempunyai nilai kekuatan impak yang tidak berbeda jauh jika diberikan beban kejut, helm kemungkinan besar akan mengalami kerusakan/pecah dengan cepat dikarenakan helm akan mengalami terdeformasi elastis/plastis yang minim pada saat kontak dengan beban. Hal tersebut harus hindari karena akan membahayakan pemakai helm tersebut.

4.4 Analisa Hasil Pengujian Mekanik

Dari pengujian-pengujian diatas, dapat dievaluasi spesimen-spesimen yang dapat digunakan dan yang tidak dapat digunakan sebagai material alternatif helm. Pada pengujian tarik, seiring dengan meningkatnya kadar ABS daur ulang pada komposisi material, kekuatan tarik semua material menurun, meskipun tidak terlalu signifikan dan masih dapatizinkan. Hal ini terjadi karena material ABS mempunyai karakteristik kekuatan tarik yang lebih kecil daripada material PP. Namun untuk hasil uji perpanjangan, spesimen 50% ABS tidak dapat digunakan karena perpanjangan material-material tersebut tidak memenuhi syarat material pembuat sungkup helm.

Sementara pada pengujian impak, spesimen yang mempunyai kekuatan impak yang memenuhi syarat adalah spesimen kandungan ABS 10%, 20% dan 30%, sebaliknya spesimen kandungan ABS 40% dan 50% tidak memenuhi karena kekuatan impak kurang dari yang diizinkan. Kemudian dari hasil pengamatan sisa patahan uji impak, spesimen 10% ABS, 20% ABS, dan 30% ABS mempunyai hasil sisa patahan yang ulet/ductile, sebaliknya spesimen yang mempunyai kandungan 40% ABS dan 50% ABS, menghasilkan patahan yang getas/brittle .

Dari aspek ekonomi dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan kandungan 10%, 20%, dan 30% ABS terhadap PP pada komposisi material alternatif helm, akan berdampak positif. Yang mana kandungan ABS tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap material utamanya sehingga material ABS

daur ulang dapat digunakan dan dapat mengurangi biaya produksi. Sebaliknya, spesimen 40% ABS dan 50% ABS tidak dapat digunakan untuk produk sungkup helm karena kekuatan impak material spesimen tersebut menurun dibawah syarat minimum. Meskipun tidak layak untuk digunakan sebagai material helm, material spesimen 40% ABS dan 50% ABS dapat digunakan untuk pembuatan produk lainnya, seperti produk otomotif contohnya bodi kendaraan sepeda motor. Dimana produk-produk visual otomotif, seringkali menggunakan bahan plastik/polimer yang lebih getas.

Namun meskipun material-material tersebut dapat diolah kembali atau didaur ulang, secara ilmiah pengolahan kembali material termoplastik akan menyebabkan terdegradasi struktur polimernya yang akan merubah sifat mekanik dan karakteristik dari material tersebut. Sehingga jika pemakaian bahan daur ulang yang berlebih akan menyebabkan hasil produk yang tidak dapat diprediksi (random) kualitasnya. Karena hal tersebut, pengolahan kembali material termoplastik secara berlebih dan penggunaan kembali material helm ini secara terus menerus tidak dianjurkan pada pembuatan produk khususnya produk keselamatan.

4.5 Analisa Hasil Uji Temperatur

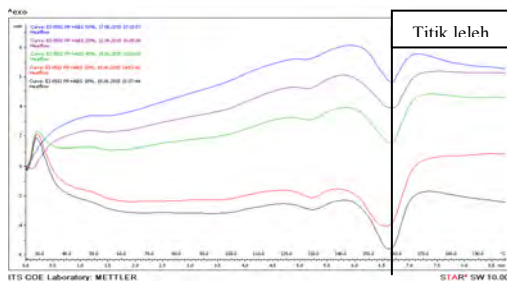
Setiap material plastik atau polimer tentunya memiliki karakteristik termal yang berbeda seperti temperatur leleh. Pada material yang diteliti, temperatur leleh yang dimiliki PP adalah kisaran 130-175°C sementara material ABS memiliki kisaran 105-150°C. Namun material campuran yang diteliti, belum dapat diketahui temperatur lelehnya. Untuk maksud mencari karakteristik termal tersebut, maka dilakukan uji DSC (Differential Scanning Calorimetry) yang dilakukan di Laboratorium Energi LPPM-ITS. Dari pengujian tersebut akan didapatkan karakteristik temperatur leleh, temperatur kristalisasi, dan sebagainya. Dari hasil tes DSC didapatkan hasil T_{melt} yaitu temperatur leleh dan T_{onset} yaitu temperatur awal terjadinya pelelehan struktur material seperti berikut :

Tabel 4.4 Data Temperatur Hasil Tes DSC

Run	ABS / %	T _{melt} / °C	T _{onset} / °C
1	10	154.82	143.38
2	20	155.04	142.46
3	30	153.54	140.38
4	40	155.10	142.06
5	50	154.48	145.16

Sumber : olahan hasil tes DSC

Seperti yang dideskripsikan pada tabel 3, kandungan ABS tidak mempengaruhi titik leleh dari PP secara signifikan dimana PP mempunyai temperatur leleh sebesar 150°C. Spesimen 10% ABS mempunyai temperatur leleh sebesar 154.82oC, spesimen 20% ABS mempunyai temperatur leleh sebesar 155.04°C, spesimen 30% ABS mempunyai temperatur leleh sebesar 153.54°C, spesimen 40% ABS mempunyai temperatur leleh sebesar 155.10°C, sementara spesimen 50% ABS mempunyai temperatur leleh sebesar 154.48°C. Perbedaan temperatur leleh tersebut dipengaruhi ketebalan struktur kristal dan distribusinya di dalam spesimen. Data temperatur dari spesimen terlihat tidak proporsional dengan kadar ABS didalamnya, hal ini menunjukkan bahwa kualitas ABS dalam spesimen berbeda-beda dikarenakan material ABS yang terkandung di spesimen adalah bahan daur ulang, yang berasal dari berbagai jenis produk ABS yang berbeda.

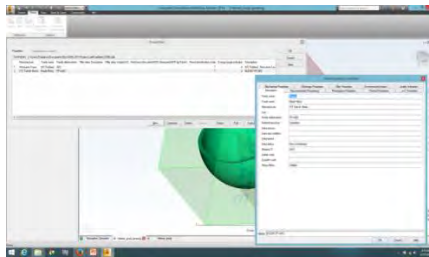


Gambar 4.12 Grafik analisa DSC spesimen

Gambar 4.12 adalah grafik hasil uji DSC seluruh spesimen. Pada grafik, heat flow yang ditunjukkan oleh Y-axis, berbeda-beda setiap spesimen. Ini menunjukkan bahwa setiap spesimen mempunyai kapasitas kalor atau kemampuan menyerap panas yang berbeda-beda (scielo.br - Ernandes). Terlihat pada grafik terdapat bentuk lembah curam yang disebut puncak endotermik, puncak tersebut menunjukkan titik leleh dari spesimen.

4.6 Simulasi *Moldflow*

Dengan adanya hasil analisa pengujian impak, tarik dan tes temperatur, maka selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan *moldflow* menggunakan produk spesimen uji.



Gambar 4.13 Menambahkan database material alternatif

Setelah memasukan data temperatur material spesimen yang didapatkan dengan metode DSC sebelumnya pada database *moldflow* seperti pada gambar 4.13, selanjutnya dibuat model produk spesimen uji dengan menggunakan *software* CAD, setelah itu dilakukan *import* produk pada *moldflow*. Kemudian merancang posisi *mold plate*, posisi injeksi, *sprue*, dan *gate* pada produk. Setelah dibuat perancangan proses injection moulding, dianalisa dengan menggunakan material-material yang diinginkan yaitu material PP murni, PP dengan kandungan ABS 10%, PP dengan kandungan ABS 20%, PP dengan kandungan ABS 30%, PP dengan kandungan ABS 40%, dan PP dengan kandungan ABS 50%, Analisa yang dilakukan adalah analisa *fill+pack*, untuk

mengetahui kemampuan material untuk mengisi bentuk sesuai dengan produk yang diharapkan. Dengan menggunakan beberapa parameter yang disesuaikan dengan mesin injeksi moulding HAITIAN MA 900/260e seperti limit tekanan injeksi mesin.

4.6.1 Langkah-langkah simulasi

Hasil rancangan bentuk dan layout produk beserta saluran masuk polimer (*gate*, *runner* dan *sprue*) disimulasikan pada software *moldflow plastic adviser* dengan parameter setting yang ditentukan. Dengan parameter yang ditunjukkan pada tabel 4.5, untuk melaksanakan simulasi proses injeksi, fitur yang diperlukan adalah:

1. *Import*; merupakan submenu dari file yang berfungsi menampilkan bentuk-bentuk solid 3 dimensi dari *software solidwork*.
2. *Select Injection Point*; berfungsi untuk menentukan lokasi dimana *gate* akan ditempatkan pada produk. Tampilannya akan berupa bentuk kerucut pada titik yang telah dipilih.
3. *Setting Runner System*; Setelah diletakan *injection point*, dilanjutkan pembuatan model saluran masuk polimer meliputi *sprue*, *runner*, dan *gate*.
4. *Select material*; berfungsi untuk menentukan jenis material yang akan digunakan dalam pembuatan produk tersebut. Tampilannya berupa kotak dialog yang berisi berbagai jenis termoplastik berikut karakteristik prosesnya.
5. *Set Process Condition*; merupakan menu yang mengindikasikan kondisi proses dan mesin injeksi. Tampilannya berupa kotak dialog yang didalamnya terdapat temperatur leleh material, temperatur cetakan dan jumlah *cavity* untuk menentukan kondisi proses. Selain itu berisi pula kemampuan injeksi maksimal mesin, laju injeksi serta performa mesin untuk menentukan kondisi mesin.

Tabel 4.5 Tabel Parameter Simulasi

Mold	Material	Max Injection Pressure (Mpa)	Tmold (°C)	Tmelt (°C)	Channel Dimension (mm)		
					Runner	Gate	Sprue
Tool Steel P-20	Polypropylene	173	40	170	3	2	6
	PP + ABS 10%			154.08			
	PP + ABS 20%			155.04			
	PP + ABS 30%			153.3			
	PP + ABS 40%			155.10			
	PP + ABS 50%			154.48			

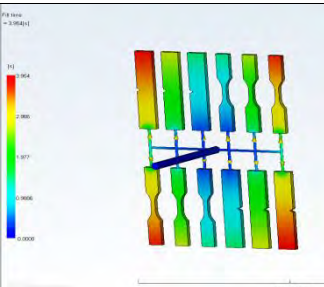
Sumber : parameter pada simulasi *moldflow*

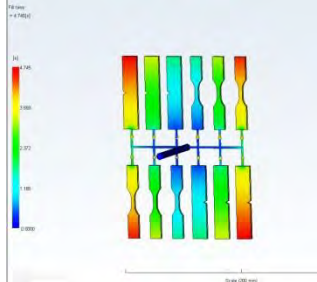
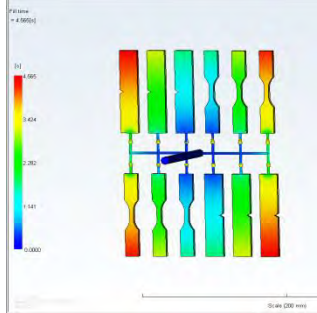
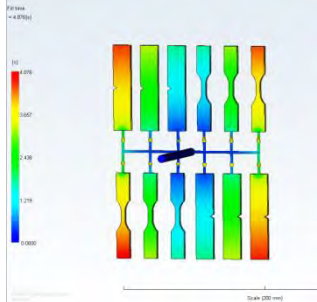
4.6.2 Hasil simulasi *moldflow*

4.6.2.1 *Fill time*

Fill Time menunjukkan arah penyebaran polimer ke dalam *cavity* selama proses penginjeksian. Area yang berwarna biru adalah bagian yang terisi polimer lebih dulu sedangkan warna merah menunjukkan daerah yang terisi terakhir. Aliran yang seimbang menjadi keharusan dalam mendesain cetakan agar aliran mencapai *cavity* dalam waktu yang bersamaan dan tidak ada *cavity* yang terlambat dalam pengisian.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi *Fill Time* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	Fill Time
1	Polypropylene		3.954 s

2	PP + ABS 10%		4.745 s
3	PP + ABS 20%		4.565 s
4	PP + ABS 30%		4.876 s

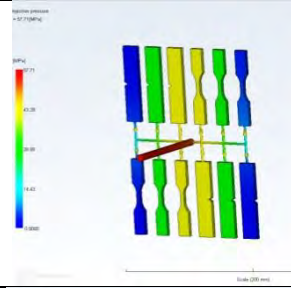
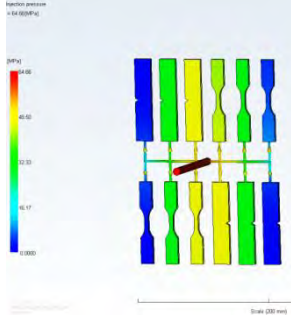
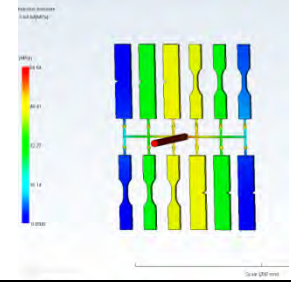
Sumber : hasil simulasi *moldflow*

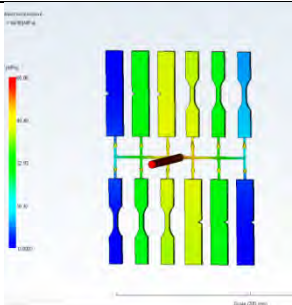
Dari tabel hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa seluruh bagian cavity terisi dengan baik, waktu penyebaran tercepat yaitu 3.954 detik dengan material *Polypropylene*, sementara yang terlama adalah material PP + ABS 30% yaitu 4.876 detik .

4.6.2.2 Injection pressure

Injection Pressure menunjukkan distribusi tekanan pada tahap akhir pengisian. Tekanan injeksi merupakan kekuatan yang melawan hambatan aliran polimer dan mendorong polimer mengisi *cavity*. Tekanan pada rongga cetak setelah terisi penuh oleh cairan polimer adalah nol.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi *Injection Pressure* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	<i>Injection Pressure</i>
1	<i>Polypropylene</i>		57.71 Mpa
2	PP + ABS 10%		64.66 Mpa
3	PP + ABS 20%		64.54 Mpa

4	PP + ABS 30%		65.85 Mpa
---	--------------	---	-----------

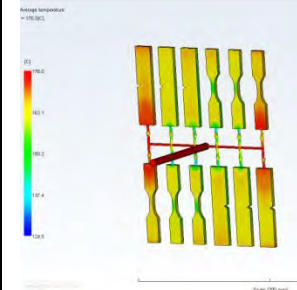
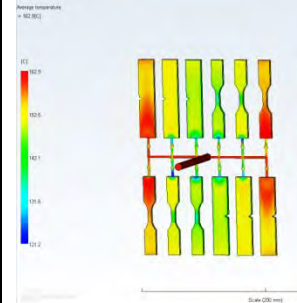
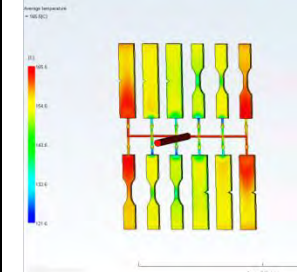
Sumber : hasil simulasi *moldflow*

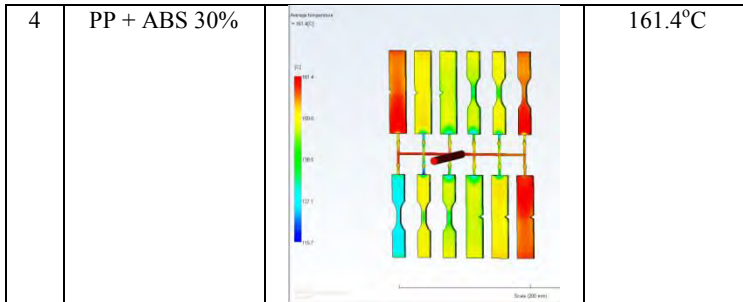
Hasil simulasi diatas menunjukkan tampak bahwa distribusi tekanan tidak merata pada produk yang ditunjukkan oleh warna biru yang tidak merata di antara produk. Tekanan total terbesar yang dibutuhkan untuk menginjeksikan termoplastik ke dalam *cavity* besarnya dimiliki oleh material PP + ABS 30% dengan besar 65.85 MPa. Sebaliknya tekanan terkecil didapatkan dengan menggunakan material *polypropylene* yaitu 57.71 Mpa. Besar tekanan injeksi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tebal dinding produk, *flow length* dan viskositas polimer.

4.6.2.3 Average temperature

Analisa ini menunjukkan hasil temperatur rata-rata sebagai cara alternatif untuk pemeriksaan distribusi aliran. Temperatur untuk melelehkan polimer dalam pengisian *cavity* tidak hanya berpengaruh terhadap fungsi waktu dan ketebalan spesimen, tetapi juga geometrik dari spesimen mempengaruhinya. Untuk mempermudah pemeriksaan digunakan temperatur rata-rata untuk mengetahui panas yang diberikan pada lokasi *cavity* tertentu pada waktu akhir pengisian polimer.

Tabel 4.8 Hasil Simulasi *Average Temperature* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	Max Average Temperature
1	Polypropylene		176°C
2	PP + ABS 10%		162.9°C
3	PP + ABS 20%		165.5°C



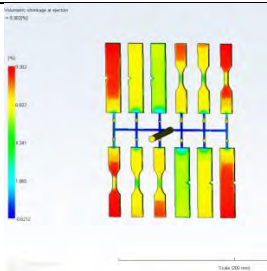
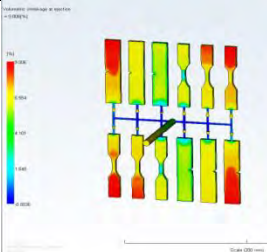
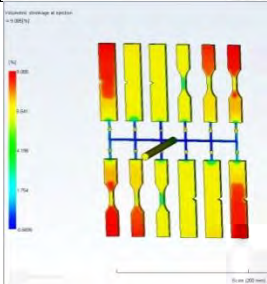
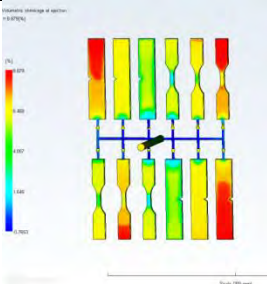
Sumber : hasil simulasi *moldflow*

Dari hasil simulasi menunjukkan material yang memiliki temperatur rata-rata batas atas dan batas bawah yang tertinggi dimiliki material polypropylene yaitu temperatur batas atas 176⁰C yang ditandai dengan warna merah dan temnperatur batas bawah yaitu 124.5⁰C yang ditandai dengan warna biru. Sebaliknya material PP + ABS 30% memiliki temperatur rata-rata terkecil.

4.6.2.4 Volumetric shrinkage

Analisa ini menunjukkan hasil penyusutan volumetrik untuk setiap daerah dinyatakan dalam persen. Penyusutan volumetrik adalah penurunan volume lokal dari akhir tahap pendinginan ketika bagian telah didinginkan. Nilai penyusutan yang tinggi dapat menunjukkan bahwa pada bagian tersebut belum mengalami pendinginan yang baik, tapi benda sudah akan dikeluarkan. Penyusutan tersebut akan mempengaruhi bentuk geometrik spesimennya.

Tabel 4.9 Hasil Simulasi *Shrinkage* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	Shrinkage
1	Polypropylene		9.302%
2	PP + ABS 10%		9.006%
3	PP + ABS 20%		9.085%
4	PP + ABS 30%		8.879%

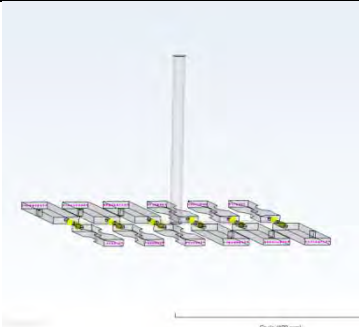
Sumber : hasil simulasi *moldflow*

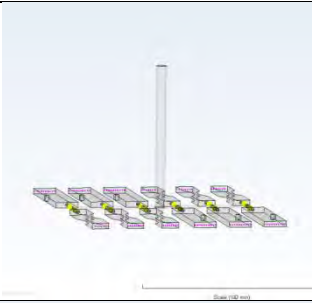
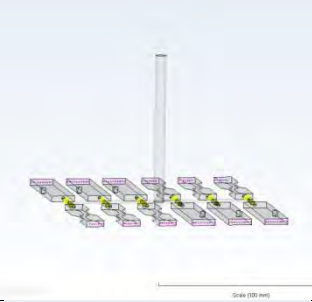
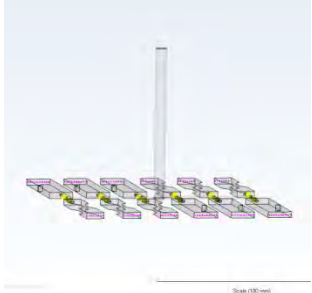
Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa shrinkage yang tertinggi pada material polypropylene yaitu 9.302% yang ditandai dengan warna merah berada di bagian dalam dari benda uji tarik dan uji beban kejut yang terletak disisi luar. Sementara pada material PP + ABS 30% shrinkage yang terjadi paling rendah yaitu 8.879%. Hal tersebut dikarenakan koefisien termal ekspansi atau koefisien muai dari material PP lebih tinggi dari material ABS (curbellplastics.com). Yang mana material PP memiliki nilai koefisien termal sebesar $100 \text{ m/m K} \times 10^{-6}$ sementara material ABS sebesar $78 \text{ m/m K} \times 10^{-6}$. Sehingga dengan penambahan material ABS akan mengurangi besar penyusutan atau pemuai dari produknya.

4.6.2.5 Air trap

Analisa ini menunjukkan peristiwa *air trap* yang terjadi pada produk. *Air trap* adalah kejadian dimana udara terperangkap pada produk saat proses injeksi, hal tersebut dapat menyebabkan bentuk produk tidak sesuai dengan spesifikasi produk. *Air trap* dapat dicegah dengan membuat celah ventilasi udara pada lokasi cetakan yang rentan mengalami *air trap*.

Tabel 4.10 Hasil Simulasi *Air Trap* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi
1	<i>Polypropylene</i>	

2	PP + ABS 10%	
3	PP + ABS 20%	
4	PP + ABS 30%	

Sumber : hasil simulasi *moldflow*

Dari hasil simulasi menunjukkan bentuk *air trap* pada setiap spesimen identik. Hal tersebut dapat disebabkan karena bentuk produk yang tipis dan berukuran kecil. Sehingga meskipun pada simulasi ini digunakan material selain yang digunakan pada penelitian ini, bentuk dari *air trap* tidak akan mengalami perbedaan bentuk air trap yang signifikan.

4.7 Perbandingan Hasil Proses Injeksi dengan Simulasi

Setiap eksperimen diperlukan analisa dengan membandingkan hasil simulasi dan aktual, hal tersebut dilakukan untuk mengurangi kemungkinan biaya produksi terutama biaya mesin atau biaya prototipe yang tinggi. Dimana dalam simulasi, parameter suatu proses dapat diubah dengan bebas tanpa mengeluarkan biaya atau kontak langsung dengan mesin, sehingga hasil proses tersebut dapat diprediksi lebih mudah. Perbandingan hasil simulasi tiap material dan hasil aktual dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perbandingan hasil simulasi dan proses injeksi

Analisa	Cycle Time (s)		Injection Pressure (Mpa)	
	Simulasi	Aktual	Simulasi	Aktual
PP	21.98	23	57.71	65
PP + ABS 10%	21.47	22	64.66	
PP + ABS 20%	21.57	22	64.54	
PP + ABS 30%	21.22	20	65.85	

Sumber : olahan hasil simulasi dan parameter proses injeksi

Terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil aktual pembuatan produk dengan proses *injection moulding*. Terutama dengan penambahan material ABS, beberapa hasil simulasi menunjukkan bahwa material-material campuran tersebut memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan material murninya, seperti penyusutan material campuran lebih sedikit daripada material PP murni. Hal tersebut bisa disebabkan karena pada setiap butir polimer, karakteristik materialnya sesungguhnya tidak selalu sama seperti pada simulasi komputer dan adanya faktor-faktor pada proses injeksi aktualnya yang diabaikan pada simulasi tersebut. Namun secara logika, hasil simulasi masih dapat

diterima. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan material ABS, dari aspek ekonominya akan menguntungkan. Karena dengan penambahan material tersebut, biaya material yang digunakan dapat berkurang dan kualitas hasil produksi yang didapat lebih baik daripada menggunakan material murninya.

*** Halaman ini sengaja dikosongkan ***

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan, dapat disusun beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan 10-50% kandungan ABS daur ulang pada material utama yaitu PP mempengaruhi sifat mekanik material utamanya., dimana hasil pengujian tarik dan impak material alternatif dan pengamatan hasil sisa patahan uji impak menunjukkan bahwa spesimen 10% ABS, spesimen 20% ABS dan spesimen 30% ABS memenuhi syarat sifat mekanik material pembuatan sungkup helm yaitu kekuatan tarik dengan nilai 35 Mpa – 60 Mpa, perpanjangan material sebesar 100% - 600% dan kekuatan impak charpy sebesar 7.75 – 15 KJ/m². Oleh karena itu komposisi material 10% ABS, 20% ABS, dan 30% ABS layak digunakan sebagai material alternatif pembuatan sungkup helm. Sedangkan spesimen 40% ABS, dan spesimen 50% ABS tidak memenuhi syarat sifat mekanik material sungkup helm. Namun jika dilihat dari sifat mekaniknya, komposisi material 40% ABS dan 50% ABS dapat digunakan untuk produk visual otomotif lainnya seperti body kendaraan sepeda motor.
2. Dari hasil tes DSC (Differential Scanning Calorimetry), dapat diketahui bahwa kandungan ABS tidak mempengaruhi titik leleh dan kristalisasi dari PP secara signifikan. Dimana spesimen 10% ABS temperatur leleh 154.82°C; spesimen 20% ABS temperatur leleh 155.04°C; spesimen 30% ABS temperatur leleh 153.54°C; spesimen 40% ABS temperatur leleh 155.10°C; sementara spesimen 50% ABS mempunyai temperatur leleh 154.48°C.
3. Dari perbandingan hasil proses injeksi aktual dengan simulasi moldflow spesimen tarik dan impak menunjukkan bahwa material 10% ABS, 20% ABS, dan 30% ABS dapat

digunakan sebagai material alternatif pembuatan sungkup helm yang dapat mengurangi daya material campuran tersebut maka biaya material dapat diturunkan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan, maka beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Dari empat variabel proses yang digunakan pada penelitian ini, pemilihan nilai dari tiap level variabel proses yang digunakan memiliki rentang yang relatif lebar. Untuk itu perlu ditetapkan rentang variabel proses yang lebih tepat agar nilai optimum respon yang diinginkan dapat tercapai lebih akurat.
2. Untuk lebih mendapatkan model yang lebih sesuai sebaiknya digunakan alat ukur dengan kecermatan alat ukur yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Mukhammad, Setyoko., 2014,”Studi Kelayakan Mekanik Komposit Serat Rami Acak-Polyester Sebagai Bahan Helm Standar SNI”, **Teknik Mesin Universitas Diponegoro**, Semarang.
- Perdana, Bayu., 2009,“Studi Eksperimental Material Komposit Dengan Penambahan CaCO₃ Sebagai Material Alternatif Helm Standar”, **Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember**, Surabaya.
- Fernandes, Sousa., 2012, “Motorcycle helmets—A state of the art review”, **University of Aveiro**, Portugal
- Rizka., Yuyun., Harjanto., 2013, “Analisis Produk Spion PS 135 dengan Pengaturan Parameter Melt Temperatur Material Plastik Polypropylene (pp) pada Proses Injection Molding”, **Universitas Negeri Surakarta**, Surakarta.
- Harper, C.A. 2006. **Handbook of Plastics Tecnologies. United States of America**. The Mc.Graw-Hill Companies, Inc.
- Kumar, Anil., Babu, Suresh., 2013, “Design and Analysis of Industrial Helmet”, **University Of Anantapur**, India.
- Can, S., Tan, S., 2005, “A Study On Thermal and Mechanical Properties of Mechanically Milled HDPE and PP”, **Ankara Middle East Technical University Turkey**, Turkey.
- Kilwon, Cho., 1999,”Crystallization and melting behavior of polypropylene and maleated polypropylene blends”, **Pohang University of Science and Technology**, Korea.
- Wikipedia., 2015, **Stress (Mechanic)**, <en.wikipedia.org/Stress_(Mechanics)>.
- Adriano, Souza., 2010, “Determination of the melting temperature, heat of fusion, and purity analysis of different samples of zidovudine (AZT) using DSC”, **University of Sao Paulo**, Brazil.
- Thomas, Leonardo., 2001, “Use of multiple heating rate DSC and modulated temperature DSC to detect and analyze

- temperature-time-dependent transitions in materials”, **TA Instrument**, United States.
- Bucknall., 1986, “Impact Testing of Polypropylene Mouldings”, **Cranfield Institute of Technology**, United Kingdom.
- Li, Kan., 2007, “Environmental Effect on Recycled Plastics”, **University of Adelaide**, Australia.
- Nita, Alexandra., 2010, “Charpy Impact On The Molded Polymeric Parts”, **Constanta Maritime University**, Romania.
- Standar Nasional Indonesia, SNI 1811-2007 “Helm Pengendara Kendaraan Bermotor Roda Dua”, **Badan Standarisasi Nasional**.
- Sibut., 2008, “Perancangan Cetakan dan Simulasi Proses Injeksi Helm Komunikatif”, **Institut Teknologi Sepuluh Nopember**, Surabaya.
- Astrom, 1997, **Manufacturing of Polymer Composite**, Chapman and Hall, London.
- Alexfan, 2006, “Perancangan Helm Standar Plus untuk Kendaraan Bermotor Roda Dua”, **Institut Teknologi Sepuluh Nopember**, Surabaya.
- Elite-machinery., 2010, **Injection Moulding Machine**, <elitemachinerysystems.com>.
- Schuberth., 2012, **Helmet Shell**, <<http://www.schuberth.com/en/motorcycle/c3-basic.html>>.

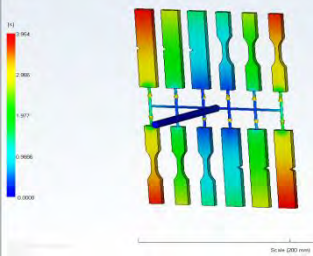
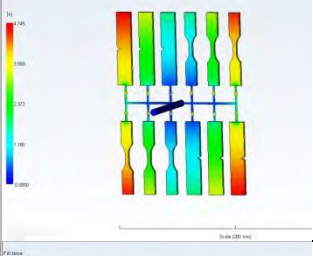
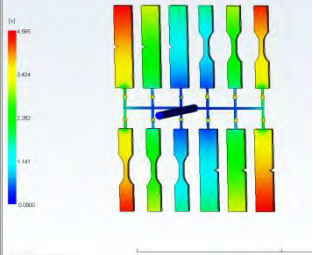
Lampiran

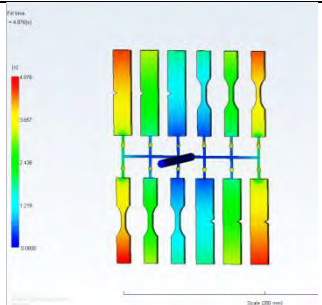
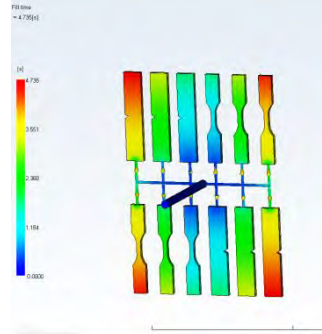
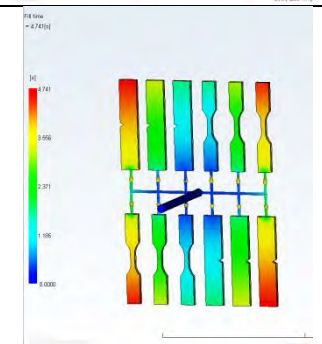
Lampiran A. Simulasi *Moldflow*

1. *Fill time*

Fill Time menunjukkan waktu penyebaran polimer ke dalam *cavity* selama proses penginjeksian.

Tabel 1 Hasil Simulasi *Fill Time* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	<i>Fill Time</i>
1	<i>Polypropylene</i>		3.954 s
2	PP + ABS 10%		4.745 s
3	PP + ABS 20%		4.565 s

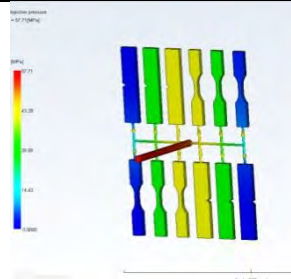
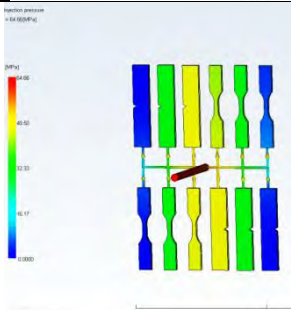
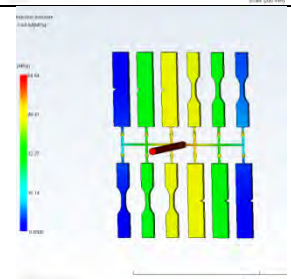
4	PP + ABS 30%	 <p>Final time = 4.876[s]</p> <p>Scale (200 mm)</p>	4.876 s
5	PP + ABS 40%	 <p>Final time = 4.735[s]</p> <p>Scale (200 mm)</p>	4.735 s
6	PP + ABS 50%	 <p>Final time = 4.741[s]</p> <p>Scale (200 mm)</p>	4.741 s

Sumber : hasil simulasi *moldflow*

2. Injection pressure

Injection Pressure menunjukkan distribusi tekanan pada tahap akhir pengisian.

Tabel 2 Hasil Simulasi *Injection Pressure* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	Injection Pressure
1	<i>Polypropylene</i>		57.71 Mpa
2	PP + ABS 10%		64.66 Mpa
3	PP + ABS 20%		64.54 Mpa

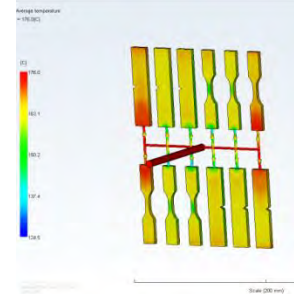
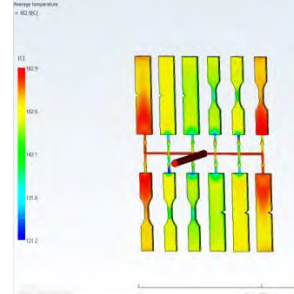
4	PP + ABS 30%		65.85 Mpa
5	PP + ABS 40%		64.70 Mpa
6	PP + ABS 50%		64.81 Mpa

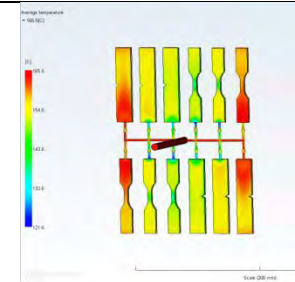
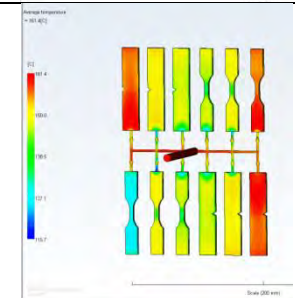
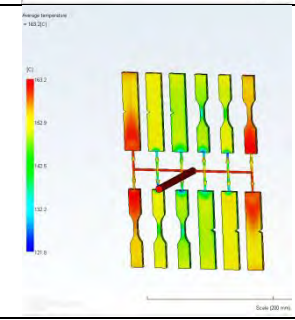
Sumber : hasil simulasi *moldflow*

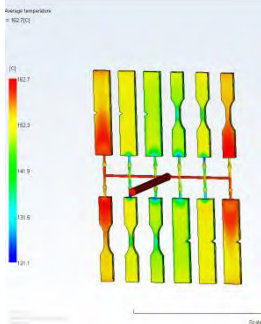
3. Average temperature

Analisa ini menunjukkan hasil temperatur rata-rata sebagai cara alternatif untuk pemeriksaan distribusi aliran. Temperatur untuk melelehkan polimer dalam pengisian *cavity* tidak hanya berpengaruh terhadap fungsi waktu dan ketebalan spesimen, tetapi juga geometrik dari spesimen mempengaruhinya. Untuk mempermudah pemeriksaan digunakan temperatur rata-rata untuk mengetahui panas yang diberikan pada lokasi *cavity* tertentu pada waktu akhir pengisian polimer.

Tabel 3 Hasil Simulasi *Average Temperature* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	Max Average Temperature
1	<i>Polypropylene</i>		176°C
2	PP + ABS 10%		162.9°C

3	PP + ABS 20%	 <p>Average temperature = 165.5(°C)</p> <p>Scale (20 mm)</p>	165.5°C
4	PP + ABS 30%	 <p>Average temperature = 161.4(°C)</p> <p>Scale (20 mm)</p>	161.4°C
5	PP + ABS 40%	 <p>Average temperature = 163.2(°C)</p> <p>Scale (20 mm)</p>	163.2°C

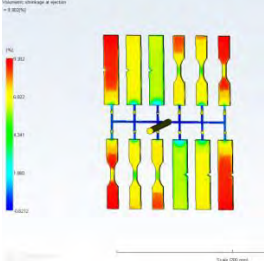
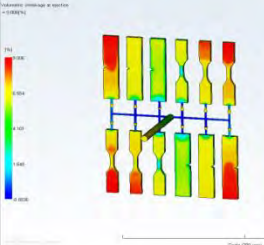
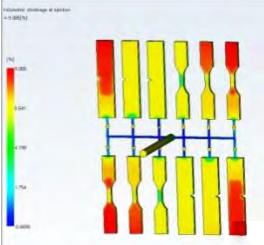
6	PP + ABS 50%		162.7°C
---	--------------	---	---------

Sumber : hasil simulasi *moldflow*

4. Volumetric shrinkage

Analisa ini menunjukkan hasil penyusutan volumetrik untuk setiap daerah dinyatakan dalam persen. Penyusutan volumetrik adalah penurunan volume lokal dari akhir tahap pendinginan ketika bagian telah didinginkan.

Tabel 4 Hasil Simulasi *Shrinkage* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi	Shrinkage
1	Polypropylene		9.302%
2	PP + ABS 10%		9.006%
3	PP + ABS 20%		9.085%

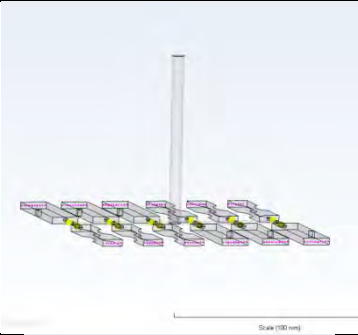
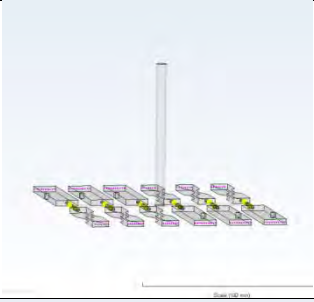
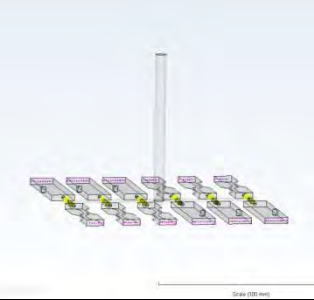
4	PP + ABS 30%	<p>(shrinkage) shrinkage at injection = 0.009%</p> <p>Scale (100 mm)</p>	8.879%
5	PP + ABS 40%	<p>(shrinkage) shrinkage at injection = 0.009%</p> <p>Scale (100 mm)</p>	8.896%
6	PP + ABS 50%	<p>(shrinkage) shrinkage at injection = 0.009%</p> <p>Scale (100 mm)</p>	9.007%

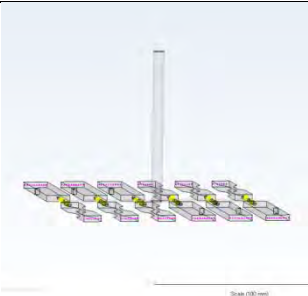


Sumber : hasil simulasi *moldflow*

5. *Air trap*

Analisa ini menunjukkan peristiwa *air trap* yang terjadi pada produk. *Air trap* adalah kejadian dimana udara terperangkap pada produk saat proses injeksi.

Tabel 5 Hasil Simulasi *Air Trap* Termoplastik

No	Material	Hasil Simulasi
1	<i>Polypropylene</i>	 <p>A 3D simulation of a Polypropylene injection molding process. A vertical sprue is shown above a mold cavity. The mold cavity is filled with a grey material, and a small yellow air trap is visible at the bottom of the cavity. A scale bar at the bottom right indicates 100 mm.</p>
2	PP + ABS 10%	 <p>A 3D simulation of a PP + ABS 10% injection molding process. A vertical sprue is shown above a mold cavity. The mold cavity is filled with a grey material, and a small yellow air trap is visible at the bottom of the cavity. A scale bar at the bottom right indicates 100 mm.</p>
3	PP + ABS 20%	 <p>A 3D simulation of a PP + ABS 20% injection molding process. A vertical sprue is shown above a mold cavity. The mold cavity is filled with a grey material, and a small yellow air trap is visible at the bottom of the cavity. A scale bar at the bottom right indicates 100 mm.</p>

4	PP + ABS 30%	
5	PP + ABS 40%	
6	PP + ABS 50%	

Sumber : hasil simulasi *moldflow*

Lampiran B. Hasil Uji Tarik dan Impak



LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

DATA PENGUJIAN TARIK

KELOMPOK / GROUP : TA Model Design
JENIS PRAKTIKUM : Uji tarik
MATA KULIAH : Tegangan Aluhay
ALAT YANG DIGUNAKAN : KARL FRANK 654
STANDARD PENGUJIAN/MUTU : ASTM D638

A	DIMENSI SPECIMEN	SPECIMEN KE :		
		Polypropylene + ABS 15%		
		1	2	3

	Diameter Spesimen, \emptyset (mm / cm)			
	Tebal, T_0 (mm / cm)	4.3	4.3	4.3
	Lebar, W (mm / cm)	2	2	2
	Luas Penampang, (mm ² / cm ²)	6	6	6
	Gauge Length L_0 (mm)	7.62	7.62	7.62
	Panjang Total, (mm / cm)	62	62	62
B	HASIL PENGUJIAN			
	Beban lumer, (kN / kgf)			
	Beban Maximum, (kN / kgf) kgf kN	34	34	34
	Gauge Length Setelah patah, L_1 (mm)	50	62	53
	Diameter Setelah Patah, \emptyset (mm / cm)			
	Tebal Setelah Patah, T_1 (mm / cm)	1.5	2	1.5
	Lebar Setelah Patah, W_1 (mm / cm)	1.5	1.5	1.5
	Luas Setelah Patah, A_1 (mm ² / cm ²)	2.25	3	2.25
C	EVALUASI			
	Yield Strength, σ_y (N/mm ² / kgf/mm ²)			
	Tensile Strength, σ_u (N/mm ² / kgf/mm ²)	55.08	55.57	55.24
	Elongation, ϵ (%)	528.92	595.53	543.04
	Reduction of Area, δ (%)	50	50	50
	Modulus of Elasticity, E (%)			

Lab. Metalurgi FTI – ITS
PLP Pendamping,



LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

DATA PENGUJIAN TARIK

KELOMPOK / GROUP : TA Mandiri Design
JENIS PRAKTIKUM : Uji Tarik
MATA KULIAH : Tugas Akhir
ALAT YANG DIGUNAKAN : Kardi Front 6541
STANDARD PENGUJIAN/MUTU : ASTM D638

A	DIMENSI SPECIMEN	SPECIMEN KE :		
		Redu Pandang + Abs 20%	2	3

	Diameter Spesimen, \varnothing (mm / cm)			
	Tebal, To (mm / cm)	3	5	3
	Lebar, W (mm / cm)	2	2	2
	Luas Penampang, (mm ² / cm ²)	6	6	6
	Gauge Length Lo (mm)	762	762	762
	Panjang Total, (mm / cm)	62	62	62
B	HASIL PENGUJIAN			
	Beban lumer, (kN / kgf)			
	Beban Maximum, (kN / kgf)	33.5	34	34
	Gauge Length Setelah patah, L1 (mm)	59	49	48
	Diameter Setelah Patah, \varnothing (mm / cm)			
	Tebal Setelah Patah, T ₁ (mm / cm)	1.5	2	1.5
	Lebar Setelah Patah, W ₁ (mm / cm)	1.5	1.5	1.5
	Luas Setelah Patah, A ₁ (mm ² / cm ²)	2.25	3	2.25
C	EVALUASI			
	Yield Strength, σ_y (N/mm ² / kgf/mm ²)			
	Tensile Strength, σ_u (N/mm ² / kgf/mm ²)	54.73	54.59	55.08
	Elongation, ϵ (%)	50.22	50.73	49.05
	Reduction of Area, δ (%)	62.5	50	62.5
	Modulus of Elasticity, E (%)			

Lab. Metalurgi FTI - ITS
PLP Pendamping,



LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

DATA PENGUJIAN TARIK

KELOMPOK / GROUP : TA Model Desain
JENIS PRAKTIKUM : Uji tarik
MATA KULIAH : Tengen Albar
ALAT YANG DIGUNAKAN : Karet Formik 65+
STANDARD PENGUJIAN/MUTU : ASTM D638

A	DIMENSI SPECIMEN	SPECIMEN KE :		
		PBB01-nylon66 + ABS 30°A	2	3
	Diameter Spesimen, \emptyset (mm / cm)			
	Tebal, T_0 (mm / cm)	3	3	3
	Lebar, W (mm / cm)	2	2	2
	Luas Penampang, (mm ² / cm ²)	6	6	6
	Gauge Length L_0 (mm)	762	762	762
	Panjang Total, (mm / cm)	62	62	62
B	HASIL PENGUJIAN			
	Beban lumer, (kN / kgf)			
	Beban Maximum, (kN / kgf) kgf kgf	33	34	33.5
	Gauge Length Setelah patah, L_1 (mm)	48	43	48
	Diameter Setelah Patah, \emptyset (mm / cm)			
	Tebal Setelah Patah, T_1 (mm / cm)	2	1.5	2
	Lebar Setelah Patah, W_1 (mm / cm)	1.5	1.5	1.5
C	Luas Setelah Patah, A_1 (mm ² / cm ²)	3	2.25	3
	EVALUASI			
	Yield Strength, σ_y (N/mm ² / kgf/mm ²)			
	Tensile Strength, σ_u (N/mm ² / kgf/mm ²)	53.03	54.91	54.42
	Elongation, ϵ (%)	464.3	438.05	464.3
	Reduction of Area, δ (%)	50	50	50
	Modulus of Elasticity, E (%)			

Lab.Metalurgi FTI – ITS
PLP Pendamping,



**LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER**

DATA PENGUJIAN TARIK

KELOMPOK / GROUP : TA Modul Desain
JENIS PRAKTIKUM : Uji Tarik
MATA KULIAH : Tugas Akhir
ALAT YANG DIGUNAKAN : Hard Frame 654
STANDARD PENGUJIAN/MUTU : ASTM D638

A	DIMENSI SPECIMEN	SPECIMEN KE :		
		Polystyrene + ABS 40%	1	2

	Diameter Spesimen, \emptyset (mm / cm)			
	Tebal, To (mm / cm)	3	3	3
	Lebar, W (mm / cm)	2	2	2
	Luas Penampang, (mm ² / cm ²)	6	6	6
	Gauge Length Lo (mm)	762	762	762
	Panjang Total, (mm / cm)	62	62	62
B	HASIL PENGUJIAN			
	Beban lumer, (kN / kgf)			
	Beban Maximum, (kN / kgf) 100 100	335	34	34
	Gauge Length Setelah patah, L1 (mm)	38	22	32
	Diameter Setelah Patah, \emptyset (mm / cm)			
	Tebal Setelah Patah, T1 (mm / cm)	2	2	2
	Lebar Setelah Patah, W1 (mm / cm)	2	2	2
	Luas Setelah Patah, A1 (mm ² / cm ²)	4	4	4
C	EVALUASI			
	Yield Strength, σ_y (N/mm ² / kgf/mm ²)			
	Tensile Strength, σ_u (N/mm ² / kgf/mm ²)	57.59	54.1	54.1
	Elongation, ϵ (%)	293.7	183.87	228.08
	Reduction of Area, δ (%)	33.3	33.3	33.3
	Modulus of Elasticity, E (%)			

Lab.Metalurgi FTI – ITS
PLP Pendamping,

()



LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

DATA PENGUJIAN TARIK

KELOMPOK / GROUP : TA Month Design
 JENIS PRAKTIKUM : Uji Tarik
 MATA KULIAH : Turan Ashin
 ALAT YANG DIGUNAKAN : Universal Tester
 STANDARD PENGUJIAN/MUTU : ASTM D638

A	DIMENSI SPECIMEN	SPECIMEN KE :		
		1	2	3

A	Diameter Spesimen, ϕ (mm / cm)			
	Tebal, T_0 (mm / cm)	3	3	3
	Lebar, W (mm / cm)	2	2	2
	Luas Penampang, (mm ² / cm ²)	6	6	6
	Gauge Length L_0 (mm)	76.2	76.2	76.2
	Panjang Total, (mm / cm)	62	62	62
B	HASIL PENGUJIAN			
	Beban lumer, (kN / kgf)			
	Beban Maximum, (kN / kgf)	33	31	31
	Gauge Length Setelah patah, L_1 (mm)	11	15	10
	Diameter Setelah Patah, ϕ (mm / cm)			
	Tebal Setelah Patah, T_1 (mm / cm)	3	3	3
	Lebar Setelah Patah, W_1 (mm / cm)	2	2	2
	Luas Setelah Patah, A_1 (mm ² / cm ²)	6	6	6
C	EVALUASI			
	Yield Strength, σ_y (N/mm ² / kgf/mm ²)			
	Tensile Strength, σ_u (N/mm ² / kgf/mm ²)	50.67	50.83	50.67
	Elongation, ϵ (%)	18.11	18.54	18.11
	Reduction of Area, δ (%)	0	0	0
	Modulus of Elasticity, E (%)			

Lab. Metalurgi FTI – ITS
 PLP Pendamping,

()



LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

Surabaya, 21 Mei 2015

DATA PENGUJIAN IMPACT

KELOMPOK / GROUP. : TA Mould, Design
JENIS PRAKTIKUM : Impact
NAMA MATA KULIAH : Komposit
Alat Yang Dipergunakan : Mesin Impact Mini
Standar Pengujian/Mutu : ASTM D6110

DATA PERCOBAAN	Polypropylene + ABS 10% KODE PERCOBAAN		
	Kode : 1	Kode : 2	Kode : 3
Sebelum percobaan			
Bahan	Plastik PP + ABS 10%	Plastik PP + ABS 10%	Plastik PP + ABS 10%
Standard Pengujian	JIS. Z-2242	JIS. Z-2242	JIS. Z-2242
Standard Specimen	ASTM D256	ASTM D256	ASTM D256
Temperatur uji	Kamar	Kamar	Kamar
Panjang specimen (A) mm	62	62	62
Tebal (B) mm	3	3	3
Lebar (C) mm	12	12	12
Saat percobaan			
Sudut awal (α)	90°	90°	90°
Sudut akhir (β)	80	79	79
Energi (e) kg m	0.439	0.471	0.471
Sesudah percobaan			
Tebal Patahan (D) mm	3	3	3
Tebal sisa patahan (D)			

Lab, Metalurgi FTI – ITS
PLP Pendamping,

(Bambang Sumantri, ST)



**LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER**

Surabaya, 21 Mei 2015

DATA PENGUJIAN IMPACT

KELOMPOK / GROUP. : TA Modul Design
JENIS PRAKTIKUM : Impact
NAMA MATA KULIAH : Komposit
Alat Yang Dipergunakan : Mesin Impact Mini
Standar Pengujian/Mutu : ASTM D6110

DATA PERCOBAAN	Polypipylene + ABS 20% KODE PERCOBAAN		
	Kode : 1	Kode : 2	Kode : 3
Sebelum percobaan			
Bahan	Plastik PP+ABS 20%	Plastik PP+ABS 20%	Plastik PP+ABS 20%
Standard Pengujian	JIS. Z-2242	JIS. Z-2242	JIS. Z-2242
Standard Specimen	ASTM D256	ASTM D256	ASTM D256
Temperatur uji	Kamar	Kamar	Kamar
Panjang specimen (A) mm	62	62	62
Tebal (B) mm	3	3	3
Lebar (C) mm	12	12	12
Saat percobaan			
Sudut awal (α)	90°	90°	90°
Sudut akhir (β)	81°	81°	80°
Energi (e) kg m	0.386	0.386	0.429
Sesudah percobaan			
Tebal Patahan (D) mm	3	3	3
Tebal sisa patahan (D')			

Lab. Metalurgi FTI – ITS
PLP Bendamping,

(Bambang Sumantri, ST)



**LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER**

Surabaya, 21 Mei 2023

DATA PENGUJIAN IMPACT

KELOMPOK / GROUP. : TA Maulid Desyri
JENIS PRAKTIKUM : Impact
NAMA MATA KULIAH : Komposit
Alat Yang Dipergunakan : Mesin Impact Mini
Standar Pengujian/Mutu : ASTM D6110

DATA PERCOBAAN	Polypropylene + ABS 30%		
	KODE PERCOBAAN		
	Kode : 1	Kode : 2	Kode : 3
Sebelum percobaan			
Bahan	Plastik PP + ABS 30%	Plastik PP + ABS 30%	Plastik PP + ABS 30%
Standard Pengujian	JIS-Z 2242	JIS-Z 2242	JIS-Z 2242
Standard Specimen	ASTM D256	ASTM D256	ASTM D256
Temperatur uji	Kamar	Kamar	Kamar
Panjang specimen (A) mm	62	62	62
Tebal (B) mm	3	3	3
Lebar (C) mm	12	12	12
Saat percobaan			
Sudut awal (α)	90°	90°	90°
Sudut akhir (β)	83°	83°	84°
Energi (e) kg m	0,301	0,301	0,298
Sesudah percobaan			
Tebal Patahan (D) mm	3	3	3
Tebal sisa patahan (D')			

Lab. Metalurgi FTI – ITS
PLP. Pendamping,

(Bambang Sumantri, ST)



LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

Surabaya, 21 Mei 2015

DATA PENGUJIAN IMPACT

KELOMPOK / GROUP. : TA Mawati Azzahra
JENIS PRAKTIKUM : Impact
NAMA MATA KULIAH : Komposit
Alat Yang Dipergunakan : Mesin Impact Mini
Standar Pengujian/Mutu : ASTM D610

DATA PERCOBAAN	Polypropylene + ABS 40 % KODE PERCOBAAN		
	Kode : 1	Kode : 2	Kode : 3
Sebelum percobaan			
Bahan	Plastik PP + ABS 40%	Plastik PP + ABS 40%	Plastik PP + ABS 40%
Standard Pengujian	JIS-Z-2242	JIS-Z-2242	JIS-Z-2242
Standard Specimen	ASTM D256	ASTM D256	ASTM D256
Temperatur uji	Kamar	Kamar	Kamar
Panjang specimen (A) mm	62	62	62
Tebal (B) mm	3	3	3
Lebar (C) mm	12	12	12
Saat percobaan			
Sudut awal (α)	90°	90°	90°
Sudut akhir (β)	84°	83°	84°
Energi (e) kg m	0.258	0.301	0.258
Sesudah percobaan			
Tebal Patahan (D) mm	3	3	3
Tebal sisa patahan (D)			

Lab.Metalurgi FTI – ITS
PLP Pendamping,

(Bambang Sumantri, ST)



**LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER**

Surabaya, 22 Mei 2015

DATA PENGUJIAN IMPACT

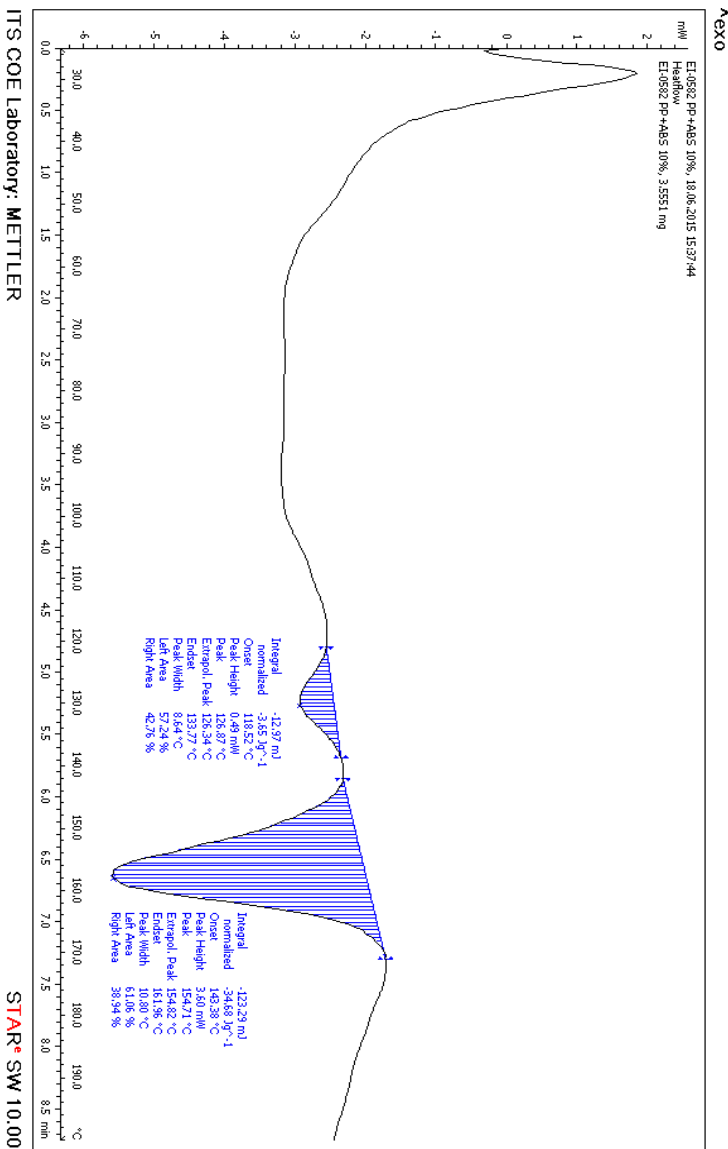
KELOMPOK / GROUP. : TA Mould Design
JENIS PRAKTIKUM : Impact
NAMA MATA KULIAH : Komposit
Alat Yang Dipergunakan : Mesin Impact Mini
Standar Pengujian/Mutu : ASTM D610

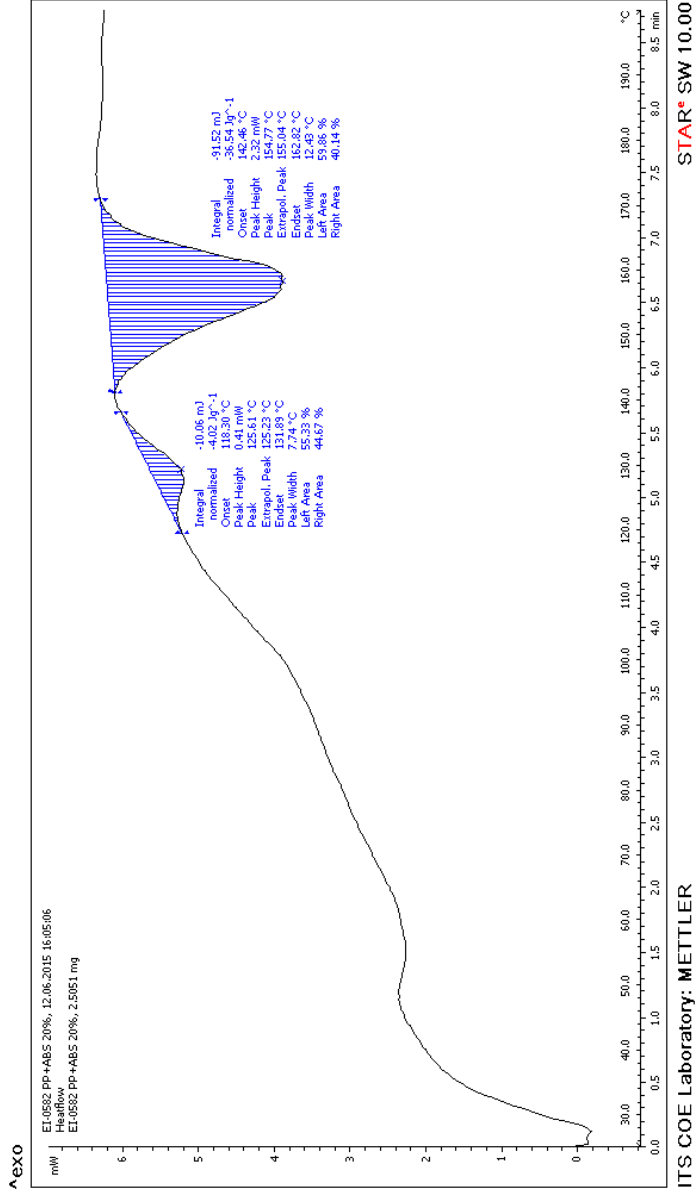
DATA PERCOBAAN	Polypropylene + ABS 50 % KODE PERCOBAAN		
	Kode : 1	Kode : 2	Kode : 3
Sebelum percobaan			
Bahan	Plastik PP + ABS 50%	Plastik PP + ABS 50%	Plastik PP + ABS 50%
Standard Pengujian	JIS-Z-2242	JIS-Z-2242	JIS-Z-2242
Standard Specimen	ASTM D256 D354	ASTM D256	ASTM D256
Temperatur uji	Kamar	Kamar	Kamar
Panjang specimen (A) mm	62	62	62
Tebal (B) mm	3	3	3
Lebar (C) mm	12	12	12
Saat percobaan			
Sudut awal (α)	90°	90°	90°
Sudut akhir (β)	85°	85°	84°
Energi (ϵ) kg m	0.215	0.215	0.252
Sesudah percobaan			
Tebal Patahan (D) mm	3	3	3
Tebal sisa patahan (D)			

Lab. Metalurgi FTI – ITS
PLP, Pendamping,

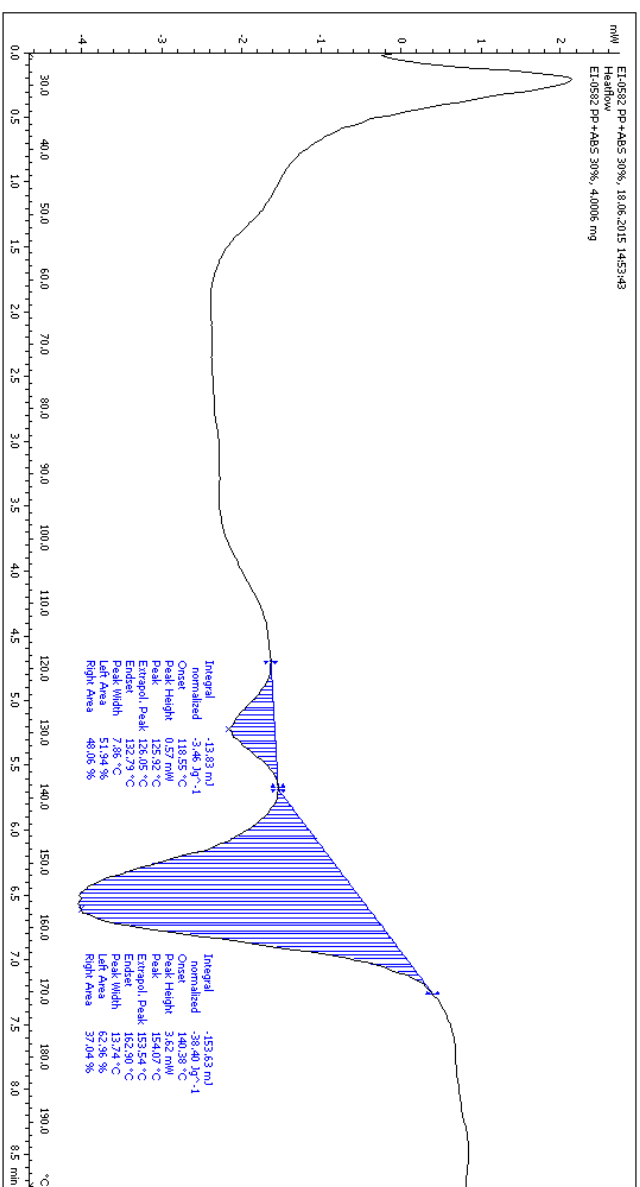
(Bambang Sumantri, ST)

Lampiran C. Hasil Tes *Differential Scanning Calorimetry*



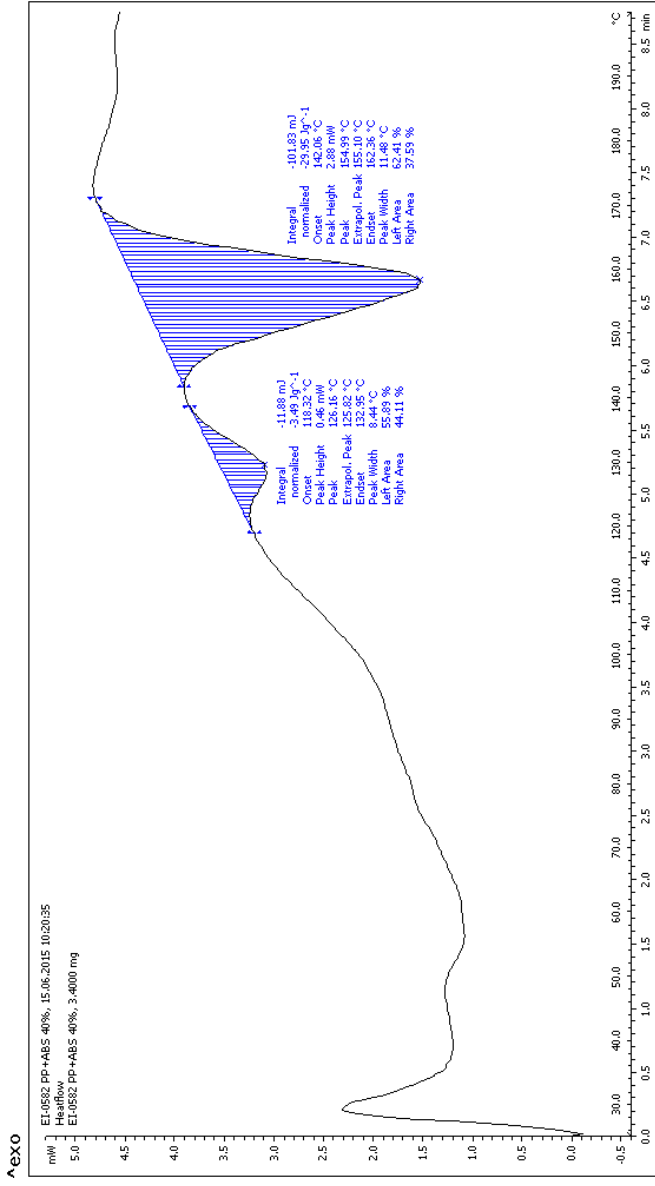


^exo



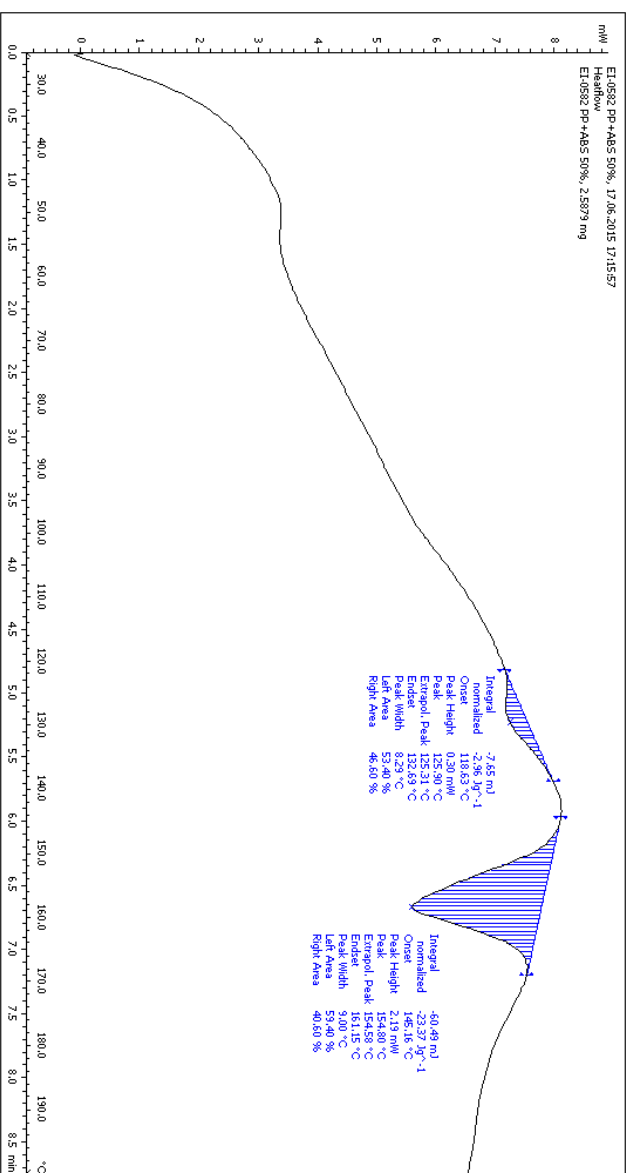
ITS COE Laboratory: METTLER

STAR[®] SW 10.00



exo

ET-0582 PP+ABS 50%, 17.06.2015 17:15:57
Heatflow
ET-0582 PP+ABS 50%, 2.5879 mg



ITS COE Laboratory: METTLER

STAR® SW 10.00

BIODATA PENULIS



I Made Risky Ardita Prapanca, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 26 Nopember 1991. Penulis adalah putra pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak I Wayan Suwetha Wahana dan Ibu Amruni. Pendidikan dasar ditempuh di SD Taman Harapan Baru Bekasi, lulus pada tahun 2003. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Cinderamata Bekasi, lulus pada tahun 2006. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Negeri 21 Jakarta, lulus pada tahun 2009. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Di Jurusan Teknik Mesin ini, penulis mengambil Bidang Studi Teknik Manufaktur.